Die barometrisch... höhenmessu... und ihre bedeutung ...

Richard Rühlmann



DIE

BAROMETRISCHEN HÖHENMESSUNGEN

UND

IHRE BEDEUTUNG

FÜR DIE

PHYSIK DER ATMOSPHÄRE.

VON

DR. RICHARD RÜHLMANN,

PRIVATDOCENT FÜR PHYSIK AM POLYTECHNICUM ZU CARLSRUHE.

MIT EINGEDRUCKTEN TABELLEN UND HOLZSCHNITTEN

UND

SECHS STEINDRUCKTAFELN.

LEIPZIG,

VERLAG VON JOHANN AMBROSIUS BARTH.

1870.

Herrn Ministerialrath Prof. Dr. Rau
hochachtungsvollst
der Verf.

DIE

BAROMETRISCHEN HÖHENMESSUNGEN

UND

IHRE BEDEUTUNG

FÜR DIE

PHYSIK DER ATMOSPHÄRE.

VON

DR. RICHARD RÜHLMANN,

PRIVATDOCENT FÜR PHYSIK AM POLYTECHNICUM ZU CARLSRUHE.

MIT EINGEDRUCKTEN TABELLEN UND HOLZSCHNITTEN

UND

SECHS STEINDRUCKTAFELN.

LEIPZIG,

VERLAG VON JOHANN AMBROSIUS BARTH.

1870.

SEINEM VEREHRTEN

LEHRER UND FREUNDE

HERRN

D^R. CARL BRUHNS

DIRECTOR DER STERNWARTE UND ORD. PROFESSOR DER ASTRONOMIE
AN DER UNIVERSITÄT LEIPZIG

IN AUFRICHTIGER DANKBARKEIT UND HOCHACHTUNG

GEWIDMET

VOM

VERFASSER.

VORWORT.

Ehe ich die in den nachfolgenden Blättern enthaltenen Untersuchungen der Oeffentlichkeit übergebe, muss ich Einiges über die Entstehung derselben vorausschicken. Auch bezüglich der Behandlung des Materiales erscheint mir eine kurze Erklärung nicht unnöthig.

Im Anfange des Jahres 1864 wendete ich mich gemeinschaftlich mit meinem Freunde Herrn Theodor Albrecht dem Studium des interessanten Gebietes der barometrischen Höhenmessungen zu. Angeregt durch die Vorträge unserer damaligen Lehrer, des Herrn Nagel, Prof. der höheren Geodäsie, und des Herrn Dr. Lösche, Prof. der Physik, beide am Dresdener Polytechnicum, beschlossen wir über einige noch wenig aufgeklärte Punkte, zumal über die tägliche Periode der barometrischen Höhenmessungen eine Versuchsreihe anzustellen.

Es war uns damals von der grossen Literatur dieses Gebietes allerdings nur wenig mehr bekannt als die vorzügliche Arbeit von Bauernfeind. Gerade aus den Untersuchungen des Letztgenannten, welcher sich wesentlich damit beschäftigt hatte die Existenz einer täglichen Periode dieser Messmethode nachzuweisen, schien uns hervorzugehen, dass in dem Einflusse

der Bewölkung, der Bewegung der Atmosphäre etc. wohl Factoren zu suchen seien, deren genaueres Studium wesentliche Aufschlüsse über die Brauchbarkeit dieses Verfahrens für praktische Zwecke geben müsste.

Hauptsächlich mit Rücksicht auf die beschränkten Mittel, welche uns für unser Privatunternehmen zur Verfügung standen, wählten wir den Valtenberg bei Bischofswerda in Sachsen und das diesem Berge nahe gelegene Neukirch als Beobachtungspunkte.

Nachdem wir zu Ostern des genannten Jahres unter Beihülfe einiger Freunde ein genaues Nivellement zur Ermittelung der Höhendifferenzen beider Stationen vorgenommen hatten, begannen im August die eigentlichen Beobachtungen. Dieselben dauerten volle sechs Wochen.

Das folgende Jahr wurde durch die Berechnung der Resultate, welche von uns beiden unabhängig vorgenommen wurde, ausgefüllt.

Im Jahre 1865 trennten sich alsdann unsere Lebenswege; Albrecht ging zu seiner weiteren Ausbildung in dem Gebiete der Astronomie nach Berlin; ich wendete mich, um das Studium der Physik fortzusetzen, nach Leipzig.

Aber auch jetzt arbeiteten wir noch eine Weile gemeinsam. Da jedoch eine gemeinschaftliche Bearbeitung kaum weiterhin ohne Aufgabe der wissenschaftlichen Selbstständigkeit möglich schien, so trat im Jahre 1867 mein Freund von der Arbeit zurück und war so freundlich mir das gesammte Material für meine weiteren Untersuchungen zur Benutzung zu überlassen.

Ich nehme hiermit Gelegenheit Herrn Dr. Albrecht für seine treue Mitarbeiterschaft und seine vielfache Hilfe nochmals meinen aufrichtigen Dank auszusprechen.

Im weiteren Verfolg der schon durch unsere Arbeit angedeuteten Resultate zog ich nun das Material der gleichzeitigen Beobachtungen an den schweizerischen meteorologischen Stationen St. Bernhard und Genf zu Hilfe, soweit mir dasselbe in der Bibliothek der Leipziger Sternwarte zur Verfügung stand.

Gerade wesentlich die Ergebnisse dieser späteren Untersuchungen sind in diesen Blättern niedergelegt.

Nachdem ich mit Bearbeitung des mir zu Gebote stehenden Materiales fertig war, und die Sätze, welche in Capitel IV und V, überschrieben: »Erfahrungsresultate barometrischer Höhenmessungen« und: »Die Erklärung der Erfahrungsresultate« niedergelegt sind, sich ergeben hatten, begann ich mich in der vorhandenen Literatur dieses Faches umzusehen, um ein Urtheil zu bekommen, welche von den Sätzen neu seien und welche schon von anderen Forschern gefunden worden.

Ich erstaunte als ich fand, wie viel auf diesem Felde schon früher geschehen war, und wie oft manche der Resultate gefunden, aber später wieder in Vergessenheit gerathen, zu ganz verschiedenen Zeiten bei verschiedenen Autoren wiederkehrten.

Da es mir nicht uninteressant erschien, damit Einiges zur Geschichte der Entwickelung der exacten Naturwissenschaften beizutragen, so habe ich die Resultate dieser Studien in den ersten beiden Capiteln meiner Arbeit niedergelegt.

Es ist mein Bestreben gewesen die Literatur in thunlichster Vollständigkeit wiederzugeben. Dass mir dabei Vieles entgangen sein wird, ist wohl zu entschuldigen, doch wird es nun nicht schwer sein die erste Zusammenstellung zu ergänzen und damit etwas Besseres zu geben. Einige mir erst in neuerer

Zeit bekannt gewordene Arbeiten sind im Nachtrag angeführt. Ausgeschlossen von diesem Literaturverzeichniss habe ich aber alle solche Artikel, welche nur als Reproductionen des Vorhandenen ohne jede Selbstständigkeit anzusehen waren, welche daher für die Entwickelung dieser Disciplin ohne Bedeutung geblieben sind.

In der mathematischen Behandlung des Problemes, welche Capitel III enthält, bemühte ich mich in jeder Beziehung mit Strenge vorzugehen und dasjenige, was Voraussetzung ist, von dem zu trennen, was sich unmittelbar als Resultat der Berechnung ergiebt.

Bei Einführung der numerischen Werthe derjenigen Constanten, welche in die Formel eingehen, habe ich gesucht überall die exactesten Zahlen auszuwählen. Auf diese Weise ist alsdann die Formel hervorgegangen, welche auf S. 44 angegeben ist.

Das Capitel VI ist vorzugsweise bestimmt zu zeigen, in welcher Weise die in den vorhergehenden Abschnitten gefundenen Resultate geeignet sind, über manche Gebiete der Physik der Atmosphäre Aufschluss zu geben, und auf welche Weise und unter welchen Bedingungen es möglich sein wird durch barometrische Höhenmessungen Werthe zu erlangen, welche auch für wissenschaftliche Zwecke genügende Genauigkeit besitzen. Besonders auf die wahre Lufttemperatur, von der in diesem Capitel vorzugsweise die Rede ist, glaube ich grossen Werth legen zu müssen, da durch dieselbe ein neues meteorologisches Element gegeben zu sein scheint, durch dessen gehörige Berücksichtigung sich mancher dunkele Punkt der Physik der Atmosphäre lösen lässt.

Das letzte Capitel VII ist rein praktischer Natur und soll vorzugsweise dazu dienen der grossen Zahl Derjenigen, welche

sich noch immer barometrischer Höhenmessungen zur Ermittelung verticaler Coordinaten auf unserer Erde theils bedienen müssen, theils noch mit Vorliebe diese Methode benutzen, eine Anweisung zu geben, auf welche Weise sie zu verfahren haben, wenn befriedigende Resultate erhalten werden sollen und welche Genauigkeit sie ihren Messungen alsdann beilegen dürfen.

Um in dieser Hinsicht Vollständigkeit zu erzielen habe ich auch auf Grund meiner Formel Tafeln berechnet und zwar sowohl unter Anwendung von Logarithmen, als auch solche, für welche man der Logarithmen nicht bedarf.

Die Verlagsbuchhandlung hat es sich angelegen sein lassen das kleine Werk sachgemäss auszustatten. Ganz besonders dankbar aber muss ich meines verstorbenen Freundes des Dr. Adolph Barth gedenken, welcher mich nicht nur bei der schwierigen Correctur der ersten Bogen auf das Liebenswürdigste unterstützt hat, sondern der mir auch zumal bezüglich der Anordnung der Tabellen und Steindrucktafeln mit dem reichen Schatze seiner Erfahrungen ein treuer Berather gewesen ist.

Wenn ich mir erlaube diese bescheidenen Früchte redlicher Bemühungen meinem hochverehrten und geliebten Lehrer und Freunde Herrn Professor Dr. Carl Bruhns, Director der Leipziger Sternwarte, zu widmen, so möge derselbe darin ein kleines Zeichen der dankbaren Gefühle erkennen, welche ausser mir noch viele hegen, die sich seiner wissenschaftlichen Anregung und seiner aufrichtigen Unterstützung bei ihren Arbeiten zu erfreuen gehabt haben.

Ich selbst aber habe ihm nicht nur in dieser Beziehung, zumal bei dieser Arbeit, zu danken, sondern mit inniger Freude werde ich Zeit meines Lebens an die schönen, anregenden

glücklichen Stunden zurückdenken, die ich mit ihm und in seinem Hause verlebt habe.

Zum Schlusse bleibt mir nur noch übrig dieses Heft in allen seinen Theilen einer nachsichtigen Beurtheilung der geneigten Leser anzuempfehlen.

Physikalisches Laboratorium des Polytechnicum
zu Carlsruhe, im December 1869.

R. Rühlmann.

INHALTSÜBERSICHT.

II. Zusammenstellung der wichtigsten Formeln und der Literatur der barometrischen Höhenmessungen.

III. Die Voraussetzungen und Formeln der barometrischen Höhenmessungen.

IV. Erfahrungsresultate über barometrische Höhenmessungen.

V. Die Erklärung der Erfahrungsresultate.

VI. Anwendungen auf praktische Meteorologie.

VII. Ueber die Ausführung barometrischer Höhenmessungen und deren Berechnung.

Nachtrag zum Literaturverzeichniss.

Winkler, G. v. in: Baumgartner's Zeitschrift f. Physik Bd. I. p. 51.

Suppan, J. J. Hypsometrie. Innsbruck 1834.

Kořistka, Jahrbuch der K. K. geolog. Reichsanstalt v. J. 1855. p. 837.

Schmidt, J. J. Neue Höhenbestimmungen am Vesuv nebst Untersuchungen üb. die Leistungsfähigkeit des Aneroïdbarometers. Wien u. Olmütz 1858.

—— Untersuchungen über die Leistungen des Bourdon'schen Metallbarometers. Wien und Olmütz 1858.

—— Beiträge zur physikalischen Geographie von Griechenland. Athen 1861.

Radau, Sur la formule barometrique, in: Moniteur scientifique, 1864 p. 337.

Elschnig, A. Kurzgefasste Anleitung zu barometrischen Nivellirungen mit Quecksilber- und Metallbarometer. Salzburg 1869.

Druckfehler.

Pag. 1. Zeile 3 v. o. lies: Torricelli statt: Toricelli, desgl. Zeile 4 u. 6 v. u.
» 5. » 9 v. u. lies: Playfair statt: Plaifayr.
» 12. » 17 v. u. lies: Gramm statt: Grammen.
» 24. In der Formel des Verf. im vierten Factor: $(1 + 0.00262 \cos 2\psi)$ statt: $(1 - 0.00262 \cos 2\psi)$
» 58. Zeile 3 v. u. lies: 24.6 statt: 20.6
» 60. » 9 v. o. lies: $+3.1$ statt: -3.1
» 76. In Tabelle XI Columne Bernhard sind die Vorzeichen zu vertauschen.
» 77. Zeile 3 v. o. lies: Schwankungen statt: Schankungen.

I.

Die Geschichte der barometrischen Höhenmessungen.

Nachdem durch die Entdeckung des Druckes der Luft durch TORICELLI im Jahre 1643*) der scholastische Glaube an einen »*horror vacui*« vollkommen überwunden war und der Gedanke allgemeine Anerkennung gefunden hatte, dass wir auf dem Boden eines schweren Luftoceans leben, lag auch der Schritt nicht mehr fern zu dem weiteren Schlusse, dass der Druck abnehmen müsse, wenn man in diesem Luftmeere aufstiege. PASCAL hat zuerst diesen Gedanken durch das Experiment geprüft. Er liess am 19. September des Jahres 1648 seinen Schwager PÉRIER den 1477^{met} hohen Puy de Dôme bei Clermont mit einem Barometer besteigen und es zeigte sich, dass wirklich auf dem Berge die Quecksilbersäule um ungefähr 3″ 1‴ tiefer stand als im Jardin des minimes in Clermont. Die zwischen beiden Punkten liegende Luftmasse entsprach also einer Quecksilbersäule von der ange-

*) Bekanntlich suchten später Anhänger von DESCARTES diesem die Priorität der TORICELLI'schen Entdeckung zuzuschreiben und in einem seiner Briefe an MERSENNE (REN. DESCARTES, *Epistolae*, Amst. 1682 T. III. Cap. 67) spricht er sich allerdings deutlich über die Schwere der Luft aus. Es ist jedoch sehr wahrscheinlich, dass die Entdeckung TORICELLI's zu dieser Zeit (1644) schon in Frankreich bekannt war; dass aber DESCARTES in solchen Prioritätsansprüchen nicht sehr gewissenhaft war, ist bekannt, da er das Brechungsgesetz des SNELLIUS ebenfalls sich zuzuschreiben gesucht hat.

gebenen Höhe und sofort schloss PASCAL schon damals daraus, dass dies ein einfaches Mittel sei, selbst bei entfernten Punkten deren Höhenunterschied leicht und genau zu bestimmen. In Folge ihrer Wichtigkeit nahm diese neue Entdeckung das allgemeine Interesse lebhaft in Anspruch und schon BEAL, der sich um das Jahr 1665 viel mit Barometerbeobachtungen beschäftigte, scheint das Gesetz der Abnahme des Druckes mit der Höhe zu bestimmen gesucht zu haben.

Von einer Anwendung der gefundenen Thatsache zum Höhenmessen konnte aber erst die Rede sein, nachdem durch BOYLE und seinen Schüler TOWNLEY und nach diesen von MARIOTTE das nach letzterem genannte Gesetz gefunden worden war, dass die Gewichte von gleichen Volumen Luft dem Drucke proportional seien, dem dieselben ausgesetzt sind. MARIOTTE versuchte zuerst auf der Sternwarte von Paris die Höhe zu bestimmen, um welche man steigen müsse, damit das Barometer um eine Linie falle, und er fand hierfür 63 Par. Fuss.

Diese Zahl benutzte er und rechnete mit derselben, unter Anwendung seines Gesetzes die Grösse derjenigen Schichten, welche man weiter zu durchsteigen habe, damit das Barometer immer um gleiche Grössen fiele. Er soll auf diese Weise schon im Jahre 1676 eine Tafel gerechnet haben, welche also umgekehrt auch zur Bestimmung von Höhen durch das Barometer dienen konnte. Da aber die zu Grund gelegten Zahlen ziemlich falsch bestimmt waren, so mussten auch seine Tafeln unrichtige Resultate liefern.

Den richtigen theoretischen Weg schlug zuerst HALLEY ein, welcher das specifische Gewicht der Luft und des Quecksilbers bestimmte und das Gesetz der Abnahme des Druckes mit der Höhe aus dem MARIOTTE'schen Gesetze ableitete. Er versinnlichte sich den Druck durch den Flächeninhalt einer auf ihre Asymptoten bezogenen Hyperbel. Seine Formel lautet in englischem Maasse

$$h = 62169{,}795 \; log \frac{P}{p}.$$

Das Verfahren, welches er zur Ableitung dieser Formel anwendete ist im Wesentlichen genau dasselbe, dessen man sich

noch heute bedient. Nur die zu Grunde gelegten Messungsresultate sind wegen der Unvollkommenheit der benutzten Instrumente von geringer Genauigkeit. Wie allgemein das Interesse der Gelehrten an diesem Gegenstande war, zeigt die grosse Anzahl verschiedener, zum grossen Theil allerdings erfolgloser Bemühungen, welche angestellt wurden, um die Abnahme des Druckes mit der Höhe auf empirischem Wege zu studiren.

Es sind die Versuche von MARALDI zu nennen, Arbeiten von FEUILLÉE am Pic von Teneriffa (1704), Untersuchungen von CASSINI am Berge Notre Dame de la Garde bei Marseille (1672), von SCHEUCHZER in Pfeffers (1709), DE LA HIRE (1709).

Einige suchten auf theoretischem Wege zum Ziele zu gelangen, so z. B. der eben genannte CASSINI, welcher annahm, dass sich das Volumen der Luft proportional dem Quadrate des Druckes ändere, und DANIEL BERNOULLI. Der Wahrheit näher kam erst wieder BOUGUER, welcher gestützt zum Theil auf analytische Betrachtungen, zum Theil auf Versuche mit CONDAMINE am Pichincha (im J. 1742) eine der HALLEY'schen sehr ähnliche Formel entwickelt hat. Von grösserer Bedeutung sind die Arbeiten SULZER's und TOBIAS MAYER's, welcher Letztere eine ziemlich einfache und genaue Tafel nach HALLEY's Formel hinterlassen haben soll.

Ein weiterer Fortschritt in der theoretischen Entwickelung der Höhenmessungen ist seit HALLEY eigentlich erst durch FONTANA geschehen, welcher zuerst die Correctionen wegen der Abnahme der Schwere bei Entfernung vom Erdcentrum einführte, obgleich der Gedanke, dass dieser Umstand für barometrische Höhenbestimmungen von Bedeutung sei, schon von NEWTON *) im Jahre 1686 ausgesprochen worden war.

Von grösster Wichtigkeit in der Geschichte der Höhen-

*) NEWTON (*Philosophiae naturalis principia mathematica, Londini* 1686 *pag.* 298) sagt: »*Sit fluidi cujusdam densitas compressioni proportionalis, et partes ejus a gravitate quadratis distantiarum suarum a centro reciproce proportionali deorsum trahantur: dico quod si distantiae summantur in progressione musica, densitates fluidi in his distantiis erunt in progressione geometrica.*«

messungen sind die Versuche Deluc's gewesen, welcher zuerst den Einfluss der Temperatur, sowohl auf das Gewicht der Luft, als auf die Höhe der Quecksilbersäule berücksichtigen lehrte. Die Bestimmungen dieser beiden Grössen nahm er noch mit dem Barometer selbst vor, und in Folge dieses Umstandes mussten seine Versuche ziemlich unsichere Resultate ergeben. Durch die Sorgfalt der Anstellung und die geschickte Auswahl und Combination seiner einzelnen Messungen hat er Werthe erhalten, die sich immerhin nicht zu weit von den richtigen entfernen; er bestimmte den Ausdehnungscoëfficienten der Luft zu $\frac{1}{215}$ (statt $\frac{1}{273}$) und den des Quecksilbers zu $\frac{1}{4320}$ (statt $\frac{1}{4400}$). Um seine Formel zu prüfen, stellte er am Buet im Jahre 1765 eine grössere Anzahl praktischer Höhenmessungen an.

Die von Deluc aufgestellte Formel diente mit ihren Constanten zur Berechnung verschiedener Messungen, z. B. der, welche Saussure im Jahre 1787 am Montblanc und 1788 am Col de Géant anstellte. Von dieser Formel wenig verschieden sind diejenigen, welche Maskelyne, Horsley, Schuckburgh und Roy gegeben haben. Es sind dies meist eigentlich nur Umrechnungen der neuen Formeln auf englisches Maass, theilweise mit geringen Berichtigungen, theilweise auch nur mit Veränderungen der darin enthaltenen constanten Grössen.

Den Halley'schen Grundgedanken der Entwickelung benutzte Kästner wieder, ohne ihn jedoch strenger durchzuführen oder wesentlich Neues hinzuzufügen.

Die Deluc'sche Formel erfuhr eine gründliche Prüfung durch eine grosse Anzahl an bekannten Höhen ausgeführter barometrischer Messungen von Trembley. Dieser leitete unter Rücksicht auf diese Bestimmungen und die Arbeiten seiner Vorgänger eine Formel ab, welche bis zu den classischen Arbeiten von Laplace und Ramond die beste und mit Recht allgemein verbreitetste war.

Die Arbeiten von Rosenthal, Wünsch, Luz, Caluso sind nicht von grosser Bedeutung, so dass es genügt sie einfach zu nennen. Welchen Werth man übrigens darauf legte, die

schwebende Frage der barometrischen Höhenmessungen endlich erledigt zu sehen, kann man daraus erkennen, dass im Jahre 1785 von der Göttinger »Gelehrten Gesellschaft« eine Preisaufgabe darüber gestellt wurde, welche von HENNERT gelöst worden ist. Dieselbe lautete: *Ex legibus quibus densitas aëris et mercurii a calore regitur praecepta condere et demonstrare altitudinibus barometro mensurandis idonea.*

HENNERT legte die EULER'sche Annahme zu Grunde, dass die Wärme nach der Höhe in einer harmonischen Reihe abnehme, auch nahm er zuerst Rücksicht auf den Feuchtigkeitsgehalt der Atmosphäre.

Ausgehend von den verschiedenen Annahmen über das Gesetz der Wärmeabnahme, lieferte TOBIAS MAYER (Sohn) theoretische Behandlungen des Gegenstandes in seiner Schrift: »Ueber das Ausmessen der Wärme«. Unter Rücksicht auf die für die Wärmeabnahme durch die astronomische und terrestrische Refraktion bereits bekannten Resultate führten ORIANI und KRAMP ihre Untersuchungen, wobei sich allerdings bei Letzterem auf's Neue Unrichtigkeiten über die Wärmecorrectionen einschlichen, da er für diese die Temperatur der unteren Station einführte. Wie HALLEY bediente sich KRAMP wieder der natürlichen Logarithmen, nachdem schon DELUC und dessen Nachfolger der Bequemlichkeit wegen BRIGGS'sche eingeführt hatten.

Bei allen Arbeiten über diesen Gegenstand nach FONTANA waren die Schwerecorrectionen wieder in Vergessenheit gerathen und nur KRAMP führte die Correction für die Breite ein.

Alle Correctionen des Luftgewichtes und der Höhe der Quecksilbersäule wegen der Veränderlichkeit der Schwere bei Erhebung in vertikalem Sinne hat PLAIFAYR wiedergegeben, aber gerade die von KRAMP eingeführte Breitencorrection ist ihm entgangen.

Auf alle die bisher erwähnten Umstände nahm endlich zum ersten Male LAPLACE Rücksicht, und entwickelte, ausgehend von den Gleichungen des Gleichgewichtes bei Flüssigkeiten, die berühmte Formel, welche er in der *Mécanique céleste* gegeben hat. Er bestimmte die Coëfficienten nach den damals neuen, sehr genauen Messungen, welche inzwischen

von der französischen Akademie veranlasst worden waren, und über die Theorie, auf welche er seine Formel für barometrische Höhenmessungen gegründet hat, ist man bis heute eigentlich noch nicht hinaus gegangen.

Die mit voller Strenge entwickelte Formel gab aber nicht in allen Fällen für die nach ihr gemessenen Höhen eine ihrer theoretischen Genauigkeit entsprechende Uebereinstimmung mit den trigonometrischen Bestimmungen oder den Nivellements, und diese Abweichungen veranlassten RAMOND zu einer ebenso umfassend, als überaus sorgfältig angestellten Prüfung der Formel durch Messungen, die er an dem Pic du Midi de Bigorre anstellte. Auf Grund einer sehr grossen Anzahl solcher Beobachtungen fand er, dass man den Coëfficienten, welchen LAPLACE zu 18336^{met} angegeben, für Mittagsbeobachtungen auf 18393^{met} erhöhen müsse, um vollkommene Uebereinstimmung zwischen den aus der Formel gerechneten und den wahren Höhen zu erhalten.

Bei der Fortsetzung dieser vorzüglichen Arbeiten, welche er zu verschiedenen Zeiten in einzelnen *Mémoires* der Akademie vorlegte, bemerkte RAMOND bald, dass die aus Barometer- und Thermometerbeobachtungen abgeleiteten Höhen durchaus nicht zu allen Zeiten mit der wirklichen Höhe übereinstimmten, sondern, dass die Tagesstunden, die Witterung und die Lage der Stationen hierbei von wesentlichem Einfluss seien. Er wurde der eigentliche Entdecker der Thatsache, dass die barometrischen Höhen durch die Formel am Tage grösser als am Abend gefunden werden. Denn obgleich von SAUSSURE die tägliche Periode bei seinen Beobachtungen am Col de Géant bemerkt worden, hatte er doch schliesslich das arithmetische Mittel aus Beobachtungen, welche zu verschiedenen Stunden angestellt waren, ohne Auswahl als den wahrscheinlichsten Höhenwerth eingeführt. RAMOND giebt als Beweis für den Einfluss der Stunde folgende Zahlenwerthe:

7^h früh	251^{met}	(14 Beobachtungen)
12^h Mittag	258 »	(23 » »)
3^h Nachmittag	254 »	(7 » »)
9^h Abend	252 »	(7 » »)

als Höhe seines Cabinets in Bagnères über dem von DANGOS in Tarbes.

Da RAMOND seine Coëfficienten für Mittag bestimmt hatte, mussten zu dieser Zeit die nach der Formel gerechneten Höhen richtig sein.

Die Ursache dieser Erscheinungen glaubt RAMOND in auf- und absteigenden Luftströmungen suchen zu müssen, welche dadurch theils auf das Barometer, theils auf das Thermometer wirkten, dass sie die unteren Luftschichten in die Höhe führten.*) Während RAMOND diesen Einfluss den weitaus bedeutenderen nennt, hat er ausserdem auch noch die weniger bedeutenden der Lage und des Windes genau untersucht. Er schliesst über diese letzteren Umstände aus seinen Arbeiten, dass die besten Beobachtungen erhalten werden, wenn beide Stationen möglichst auf isolirten Gipfeln liegen, und dass hingegen enge Thäler sehr ungeeignet seien, ferner dass die Höhen im Allgemeinen zu gross ausfielen, wenn nördliche Winde wehten, zu klein hingegen, wenn die Winde warme Luft südlicher Regionen zwischen die Beobachtungsorte brächten.

Man findet in den verschiedenen *Mémoires* durch vielseitige Erfahrung und gute Beobachtungsgabe so Vieles bereits aus seinen Messungen abgeleitet, dass eigentlich bis auf die neuste Zeit kein wesentlicher Fortschritt mehr in praktischer Beziehung wahrnehmbar gewesen ist. Die fundamentalen Anschauungen, welche er sich hierbei gebildet hat, spricht er selbst ungefähr in folgenden Worten aus:

»Die Oberfläche der Atmosphäre bleibt fortwährend im Niveau und das Gewicht der Luftsäule schwankt je nach den Dichtenänderungen, welche ihre Schichten erleiden. Die Temperaturänderungen sind die fundamentalen Ursachen dieser Unterschiede. Die herrschenden Winde üben dadurch Einfluss aus, dass sie verschieden dichte Luft an Stelle der verdrängten setzen. Vertikale Winde aber wirken ausser hierdurch auch noch durch ihre Geschwindigkeit.«

Die praktischen Regeln, welche er pag. 58 und 59 giebt, sind bis jetzt noch nicht übertroffen, da noch Niemand so viele

*) pag. 58.

Beobachtungen und zwar unter so wechselnden Umständen angestellt hat als gerade RAMOND.

Selbst die Existenz einer täglichen Periode ist in seinen Beobachtungen zwischen Clermont und Paris schon angedeutet, obgleich er dieselbe, wahrscheinlich ihrer Unregelmässigkeit wegen, nicht beachtet zu haben scheint. Er findet nämlich diese Höhe im:

Januar:	338.4 met	Juli:	339.2 met
Februar:	314.4 »	August:	343.9 »
März:	352.7 »	September:	336.2 »
April:	343.7 »	Oktober:	337.2 »
Mai:	337.4 »	November:	319.1 »
Juni:	349.1 »	December:	298.8 »

und das Jahresmittel benutzte er als wahrscheinlichsten Werth der gemessenen Höhe.

In derselben Zeit, wo RAMOND seine schönen Untersuchungen der Pariser Akademie vorlegte, unternahm es der deutsche Astronom LINDENAU genaue Tafeln zu construiren. Er legte hierbei eine Formel zu Grunde, in welcher er nicht nur den sogenannten constanten Faktor der LAPLACE'schen Formel änderte, da er der Ansicht war, dass derselbe nur für die speciellen klimatischen Verhältnisse derjenigen Gegenden gültig sein könne, wo derselbe gefunden sei, sondern er verwarf auch die mehr der Einfachheit wegen, als wie aus theoretischem Grunde gemachte Annahme: für die Temperatur der zwischen beiden Stationen befindlichen Luftsäule das arithmetische Mittel der Anfangs- und Endtemperatur einzuführen. Er griff nach dem Vorgange EULER's und ORIANI's, TOBIAS MAYER's (Sohn) und HENNERT's zu der nicht minder hypothetischen Annahme, dass die Temperatur nach der Höhe in einer harmonischen Reihe abnehme. Seine Tafeln, welche einen Umfang von 148 Seiten gross Oktav haben, sind später von HORNER, ohne die Genauigkeit und Bequemlichkeit derselben zu schädigen, auf 5 Oktavseiten zusammen gezogen worden.

Die einfachsten und bequemsten Tafeln aber hatte OLTMANNS aus der LAPLACE'schen Formel schon vor LINDENAU abgeleitet. Später hat er dieselben sogar auf $1^1/_2$ Oktavseiten zusammen gedrängt. Ein gemeinschaftlicher Vorzug der

von Beiden gegebenen Tafeln ist es, dass sie die Anwendung von Logarithmen ganz entbehrlich machen.

Benzenberg endlich machte darauf aufmerksam, dass man bei barometrischen Höhenmessungen auch auf die Dalton'sche Theorie Rücksicht nehmen müsse, nach welcher jedes Gas, aus dem unsere Atmosphäre besteht, nur unter dem eignen Drucke steht, gerade so als ob die anderen Bestandtheile gar nicht vorhanden wären. Hiernach entsteht eine verschiedene Mischung in den verschiedenen Höhen und es wird eine additive Correction der auf gewöhnliche Weise gefundenen Höhe nöthig, welche nach Benzenberg beträgt:

für	0′	0.′0
	1000′	3.′6
	5000′	15.′6
	10000′	25.′8
	15000′	30.′9,

wobei jedoch der Einfluss des Wasserdampfes nicht mit eingerechnet ist, den man auf andere Art berücksichtigt.

Auch zu Anfang dieses Jahrhunderts zeigte sich noch immer ein lebhaftes Interesse an den barometrischen Höhenmessungen in den verschiedenartigsten Kreisen; so untersuchte d'Aubuisson z. B. zum ersten Male die Grösse und den Einfluss der Beobachtungsfehler und änderte den Coëfficienten in 18382; G. G. Schmidt änderte anfangs nach eigenen Beobachtungen den constanten Coëfficienten in 56262′ bei 0°, ging aber später auf den Ramond'schen Coëfficienten zurück; auch legte er eine neue Correction für die Aenderung nach der Breite zu Grunde. Tafeln in verschiedener Ausdehnung wurden zu jener Zeit von Biot, Mollweide, Benzenberg und August gegeben.

Auch Gauss vereinfachte die Laplace'sche Formel und rechnete hieraus seine kleinen Tafeln, welche ebenfalls nur $1\frac{1}{2}$ Oktavseite umfassen, aber allerdings logarithmische Rechnung erfordern.

Brandes im Artikel: »Höhenmessen« in Gehler's Physikalischem Wörterbuch giebt nach dem Vorgange von Anderson, Soldner, Bohnenberger eine Formel, in welcher auch der veränderliche Wasserdampfgehalt der Atmosphäre

berücksichtigt ist. Der Versuch BOHNENBERGER's ist später 1828 noch einmal von ROGG aufgegriffen und eine Correction der LAPLACE'schen Formel damit gerechnet worden. BRANDES giebt an, dass man einfach in die Formel für die Dichte D der Luft eine Grösse $D\left(1-\frac{3}{8}\,\frac{F}{P}\right)$ setzen solle, wo $\frac{F}{P}=\frac{1}{2}\left(\frac{\Sigma}{B}+\frac{\sigma}{b}\right)$, das arithmetische Mittel des Quotienten aus Dampfdruck und Luftdruck an beiden Stationen zu nehmen ist. BIOT, welcher schon vor ihm den gleichen Gedanken fasste, begnügte sich noch, wie LAPLACE und RAMOND, mit der Einführung mittlerer Feuchtigkeitsverhältnisse, ohne auf die bedeutenden Veränderungen dieses Zustandes für verschiedene Zeiten und verschiedene Orte Rücksicht zu nehmen.

Die grosse Zahl von Büchern und Broschüren, welche zumal in den ersten Jahrzehnten dieses Jahrhunderts erschien und dazu dienen sollte, die Höhenmessungen in weiteren Kreisen bekannt zu machen, ohne dabei irgend Neues der Theorie oder Praxis hinzuzufügen, findet am Besten im nachfolgenden Literaturverzeichniss ihren Platz.

Eine weitere Arbeit von oft nicht genug geschätzter Wichtigkeit ist eine Abhandlung BESSEL's: »Ueber Höhenbestimmungen durch das Barometer«, in welcher er den Versuch macht den Einfluss etwaiger Störungen des Gleichgewichtszustandes der Atmosphäre dadurch zu eliminiren, dass er alle Höhenmessungen auf den günstigsten Fall reducirt, nämlich den, dass beide Stationen in derselben Vertikalen übereinander liegen.

Er stellt nämlich Temperatur und Barometerstand dar als lineare Funktionen der Meereshöhe, des Azimuthes und der Entfernung von einem festen Punkte und rechnet die Coëfficienten nach der Methode der kleinsten Quadrate aus einer Anzahl von festen Stationen, deren geographische und meteorologische Daten bekannt sein müssen. Er nimmt also Rücksicht auf die momentane Gestalt der Flächen gleichen Druckes in der Atmosphäre und eliminirt damit einen wesentlichen Fehler barometrischer Höhenmessungen. Diesen Gedanken hat später ERMAN aufgefasst und nicht nur mit grosser

Geschicklichkeit vervollkommnet und angewendet, sondern ausserdem die hieraus folgenden Regeln angegeben, um die Lage der Niveaufläche und deren Veränderungen mit der Zeit zu finden.

Merkwürdig ist dabei nur, dass er, wie fast alle Anderen, welche in der ersten Hälfte unseres Jahrhunderts über barometrische Höhenmessungen arbeiteten, die Existenz der von RAMOND gefundenen täglichen Periode ganz vergessen zu haben scheint und ohne Auswahl Beobachtungen aus allen Tages- und Jahreszeiten bunt durcheinander wirft. Zum Theil wohl mit in Folge dessen fallen die wahrscheinlichen Fehler der nach dieser sehr rationellen Methode gerechneten Beobachtungen selbst bei den kleinen Höhen verhältnissmässig gross aus. Zum Theil sind auch die Abweichungen ein Beweis dafür, dass der Hauptmangel der barometrischen Höhenmessungen nicht in der Voraussetzung des Gleichgewichtes der Atmosphäre liegt, sondern dass derselbe an einer anderen Stelle zu suchen ist.

Nachdem sich BESSEL einmal in dieser Richtung interessirt hatte, folgte der ersten Arbeit bald eine weitere, nicht minder bedeutende. Er suchte zum ersten Male unter Berücksichtigung aller Umstände und zumal mit Einführung der Angaben des inzwischen allgemein angewendeten Psychrometers eine neue Höhenformel zu entwickeln. Auch er schliesst sich der LAPLACE'schen Grundannahme an, dass, wenn das Gesetz der Temperaturabnahme mit der Höhe nicht bekannt sei, kein Grund vorhanden ist die Wärme anders als den Aenderungen der Höhe porportional vorauszusetzen. Ferner zeigt er, dass der Einfluss der DALTON'schen Theorie auf die Resultate der Höhenmessungen nicht sehr bedeutend sei, nämlich wenn $h = n.1000$ Toisen, der entstehende Fehler

$$f = -\frac{n^2.\,0.391}{1+\alpha\tau}\text{ Toisen.}$$

Seine Formeln, zu deren leichterer Benutzung er selbst Tafeln gerechnet hat, werden nicht gerade sehr einfach. Zur Rechnung mit Hilfe der Tafeln sind nicht weniger als 7 Operationen nöthig. Sein bedeutendes Verdienst ist jedenfalls die Strenge der Entwickelung, die Einführung des Einflusses

des Wasserdampfes und die Untersuchung der verschiedenen Annahmen, endlich die Ermittelung der durch Abweichungen verursachten Fehler. Von dem Bestehen einer täglichen Periode barometrischer Höhenmessungen scheint er auch zu dieser Zeit nichts gewusst zu haben, denn sonst würde er kaum unter Anderem die Bemerkung gemacht haben: »Es ist übrigens nicht unwahrscheinlich, dass spät in der Nacht vorgenommene barometrische Höhenmessungen besser unter einander übereinstimmen werden, als am Tage gemachte, wo die Sonne die Oberfläche der Erde erwärmt.«

Da Bessel sich noch der alten Abwägungen des Gewichtes der Luft und des Quecksilbers bedient hatte, so rechnete Plantamour, auf Grund der inzwischen von Regnault angestellten neuen, überaus sorgfältigen Bestimmungen des Gewichts eines Litre Luft bei 0^{0} und 760^{mm} im College de France zu 1.293187 Gramm und des gleichen Volumens Quecksilber zu 13596 Grammen und des Ausdehnungscoëfficienten der Luft zu 0.003665, die Bessel'schen Tafeln später um.

Nur einmal noch suchte man an den Grundlagen der barometrischen Höhenmessungen und somit an der Laplace-Bessel'schen Theorie zu rütteln. In seinen im Jahre 1854 erschienenen »Grundzügen der Physik« stellte nämlich der bekannte Physiker G. S. Ohm den Satz auf, dass man nicht annehmen dürfe, der Druck der Luft auf eine Fläche sei gleich dem Gewichte des über ihr stehenden Luftcylinders, sondern man müsste davon ausgehen, dass dieselbe gleich dem Gewichte einer abgestumpften Luftpyramide sei, deren Spitze im Erdcentrum liege und welche von der gedrückten Fläche sich bis an die Grenze der Atmosphäre erstrecke. Die Formel schien unter dieser Voraussetzung etwas einfacher zu werden, da die Reduction der Barometerstände auf dieselbe Intensität der Schwere dadurch in Wegfall kam.

Manche liessen sich dadurch irre leiten, wie die Artikel von Zech und Peters, die Abhandlung von Rogg u. s. w. beweisen. Das Irrthümliche dieser Ansicht ist aber später von Minding und Guldberg genügend gezeigt worden. Eine genaue Untersuchung ergiebt, wie man in der später gegebenen Ableitung der

Höhenformeln sehen kann, dass die scheinbare Vereinfachung und Verbesserung in der Ohm'schen Formel auf Vernachlässigung von Seitendrücken beruht, durch deren Berücksichtigung man wieder vollkommen auf die Laplace'sche Formel zurückkommt.

Ein anderer Zweifel weit wichtigerer Art des um die Mitteleuropäische Gradmessung so hoch verdienten Generals Baeyer bezieht sich auf die Annahme, welche Laplace seiner Formel zu Grunde legt, für die Temperatur der Luftsäule das arithmetische Mittel aus der Temperatur an der Anfangs- und Endstation zu setzen. Er zeigt, dass diese Hypothese allerdings zu Widersprüchen führen kann, legt aber mit nicht geringerer Willkür, wie schon in seiner Abhandlung über Strahlenbrechung, eine Reihe zweiten Grades als Gesetz für die Abnahme der Wärme mit der Höhe zu Grunde, die später jedoch nicht minder willkürlich in eine Reihe erster Ordnung abgekürzt wird. Er setzt:

$$T - t = \delta . h + \varepsilon \frac{h^2 + h}{2r}$$

wo δ und ε durch Refractionsbeobachtungen zu bestimmende Constanten sind. Späterhin findet er, dass eine Grösse

$$q = \frac{\alpha(\varepsilon + 4\delta)}{2r},$$

wo α Ausdehnungscoëfficient der Luft ist, vernachlässigt werden kann und schliesst hieraus, auf mir nicht ersichtliche Weise, dass deshalb auch $\varepsilon = 0$ gesetzt werden könne und sich somit $\delta = \frac{T-t}{h}$ bestimme.

In seiner Formel, welche allerdings von der Laplace'schen hierdurch principiell verschieden ist, setzt er zuerst für δ einen aus Refractionsbeobachtungen gefundenen angenäherten Werth $\delta = -0.01485$ und rechnet damit einen genäherten Höhenunterschied. Die so gefundene Höhe h benutzt er dann, um aus den beiden abgelesenen Lufttemperaturen T und t einen neuen Werth von δ zu bestimmen, welcher den gegebenen Verhältnissen besser entspricht.

Eine Anzahl von Beobachtungen, die er nach seinen Regeln rechnet, zeigen die tägliche Periode in geringerem

Maasse als die gewöhnliche Höhenformel, sie sind aber noch immer mit derselben behaftet.

Da ich später zu zeigen hoffe, dass die Temperaturablesungen an den Thermometern der beiden Stationen noch mit so wesentlichen Fehlern behaftet sind, dass man sich in ihren Angaben um viele Grade unter Umständen irren kann, so scheint mir jede complicirtere Annahme über das Gesetz der Wärmeänderung mit der Höhe nicht mehr berechtigt als die LAPLACE'sche und kann ich mich auch vorerst aus diesem Grunde noch nicht entschliessen, der zur Rechnung ausserdem ziemlich unbequemen BAEYER'schen Formel einen Vorzug vor der LAPLACE'schen einzuräumen.

Eine andere Formel, welche ebenfalls von der gewöhnlichen Form etwas abweicht, obgleich sie ganz auf den theoretischen Grundlagen der gewöhnlichen Entwickelungen beruht, ist eine von BABINET gegebene Annäherung, die zur Berechnung kleiner Höhenunterschiede in der That recht brauchbar ist. In der LAPLACE'schen Formel, welche abgesehen von den Schwerecorrectionen lautet:

$$h = 18393^{\text{met}} \log \frac{B}{b} \left(1 + \frac{T+t}{1000}\right)$$

entwickelt BABINET den Logarithmus in eine Reihe und setzt unter Vernachlässigung der folgenden Glieder und nach Abänderung des Coëfficienten:

$$h = 16000 \frac{B-b}{B+b} \left(1 + \frac{2(T+t)}{1000}\right)$$

eine Formel, die zu Ueberschlägen, wo es auf keine grosse Genauigkeit ankommt, ganz praktisch ist.

Ausserdem hat BABINET auch an einem anderen Orte eine kleine Veränderung der Schwerecorrection nach der Breite vorgeschlagen.

In den letzterwähnten Untersuchungen mehr theoretischen Inhaltes, die allerdings fast immer mit der Praxis Hand in Hand gingen und ihre Resultate durch eigene Versuche zu bestätigen suchten, ist fast überall das Bestehen einer täglichen Periode der auf barometrischem Wege bestimmten Höhen entweder ganz vernachlässigt oder wenigstens nur vorübergehend erwähnt.

Obgleich, wie schon erwähnt, die Versuche SAUSSURE's am Col de Géant, die Beobachtungen von KÄMTZ auf dem Rigi und Faulhorn im Jahre 1841 eigentlich hätten bekannt sein sollen, so hat doch sowohl PICK in seiner bekannten Fehdeschrift gegen die barometrischen Höhenmessungen, als auch PREDIGER und KREIL in ihren zum Theil gegen diese Abhandlung gerichteten Arbeiten, der Erstere gar keine und der Letztere nur ganz nebenbei Rücksicht auf das Bestehen einer täglichen Periode für solche Messungen genommen.

PICK bezieht sich auf die zum Theil fabelhaft grossen Abweichungen der für die k. k. geologische Reichsanstalt auf barometrischem Wege bestimmten Höhen, und glaubt, nachdem er zu zeigen gesucht hat, dass weder die Tafeln, noch die Fehler in den Constanten so grosse Abweichungen zu erklären im Stande sind, schliessen zu müssen, dass entweder die Verhältnisse der Atmosphäre im Allgemeinen nicht der Art sind, wie sie bei Ableitung der Formel vorausgesetzt werden, oder dass noch andere Elemente, die bis jetzt noch nicht in Rechnung gezogen sind, auf die Resultate einwirken. Um zu zeigen, welche Fehler vorkommen können und dass sich dieselben nicht einmal in grösseren Beobachtungsreihen ausgleichen, wählt PICK eine Höhendifferenz von 4.26 Toisen bei einer Horizontaldistanz von 1000 Toisen, indem er die meteorologischen Beobachtungen auf der Centralstation in Wien und auf der Sternwarte daselbst seinen Rechnungen zu Grunde legt. Da nirgends angegeben ist, ob und auf welche Weise die beiden Instrumente mit einander verglichen sind, und er auch später bei seinem Raisonnement über die Anwendbarkeit von Jahresmitteln, denen er Beobachtungen in Wien, Kremsmünster, Krakau, Prag zu Grunde legt, weder auf die Elimination der constanten Fehler der Instrumente, noch auf die Abhängigkeit des Luftdruckes von der geographischen Länge und Breite irgend welche Rücksicht nimmt, so kann man in Folge dieser ungünstigen Umstände seinen Resultaten keinen besonderen Werth beilegen. Es ist dies um so mehr zu betonen, da die Schlusssätze seiner Arbeit ziemlich scharf gefasst sind.

Das Verdienst aber ist PICK's Untersuchungen nicht abzu-

sprechen, dass er die verschiedenen Fehler und Einflüsse, welche bei den Höhenmessungen von Bedeutung sind, gründlich und mit Strenge ermittelt und ihre Grössen zu bestimmen gesucht hat.

Nur die Härte seiner Urtheile kann übrigens die Replik HAIDINGER's in den Jahrbüchern der k. k. geolog. Reichsanstalt einigermaassen entschuldigen; zu rechtfertigen ist dieselbe nicht, da nicht mit Gründen oder Beweisen PICK's Ansichten widerlegt werden, sondern einfach die Autorität eines um ganz andere Zweige der Wissenschaft verdienten Mannes dagegen in die Wagschale geworfen wird.

Bemerkungen von ziemlich hoher praktischer Bedeutung enthält die Abhandlung von KREIL: »Ueber die Bestimmung der Seehöhe aus dem beobachteten Luftdrucke«. Er betont in derselben vor Allem die Benutzung von Jahresmitteln und macht wiederholt auf den so oft übersehenen Umstand aufmerksam, dass nur mit genau verglichenen Instrumenten genaue Bestimmungen zu erwarten sind. Er betont mehrfach — und von ihm, als so viel erfahrenem Meteorologen, ist ein solches Urtheil nicht zu unterschätzen, — dass die Veränderlichkeit der atmosphärischen Einwirkungen, welche auf vereinzelte Beobachtungen die aus ihnen abgeleitet sind einen so mächtigen Einfluss ausüben, auf das Jahresmittel nur ganz unmerklich einzuwirken im Stande sind. Selbst bei sehr weit entfernten Stationen findet er als mittleren Fehler der Höhen, welche aus 7jährigen Beobachtungen gerechnet sind, nur 2.4 Toisen. Um den Einfluss der Variabilität des Luftdruckes mit den geographischen Verhältnissen wenigstens zum Theil zu eliminiren, empfiehlt KREIL die Höhe eines und desselben Punktes durch Beziehung auf mehrere genau bekannte Stationen zu rechnen und dann aus den Resultaten einen Mittelwerth zu ziehen.

Durch diese auf zahlreiche Zahlenangaben gestützten Untersuchungen wurde zur Genüge nachgewiesen, dass PICK in seiner vollkommenen Verwerfung barometrischer Höhenmessungen zu weit gegangen war. Es schliesst sich ihr ausserdem hierin eine andere Abhandlung von PREDIGER an: »Ueber die Genauigkeit barometrischer Höhenmessungen«.

Dieser wählte zu seinen Vergleichungen vier Punkte: Brocken, met. Station, Seehöhe 1139.63^{met}, Göttingen, phys. Cabinet, 150.14^{met}, Clausthal, met. Station, 566.85^{met}, daselbst PREDIGER's Wohnung 590.64^{met}, deren geographische Coordinaten alle genau bekannt waren. PREDIGER sucht den Hauptfehler barometrischer Höhenmessungen in der nicht strengen Gleichzeitigkeit der Druckänderungen an beiden Stationen. Er empfiehlt, um diesem Uebelstande auszuweichen, nur geringe horizontale und vertikale Entfernungen beider Stationen zuzulassen, dann aber glaubt er, dass eine Genauigkeit bis auf $\frac{1}{120}$ oder $\frac{1}{150}$ bei correspondirenden Beobachtungen leicht zu erreichen sei.

Auch er ist aber in dem Irrthum befangen, wie viele seiner Vorläufer in dergleichen Arbeiten, dass die Thermometerangaben für die Lufttemperatur höchstens um einen Grad falsch sein könnten, ein Fehler der zu vermeiden gewesen wäre, da früher schon RAMOND, D'AUBUISSON, KÄMTZ und Andere oft und klar genug ausgesprochen haben, dass unter sonst günstigen Umständen gerade in der Temperatur die wesentlichste Fehlerquelle verborgen sei.

Die weitaus bedeutendste Arbeit der neueren Zeit auf diesem Gebiete ist das Werk BAUERNFEIND's: »Beobachtungen und Untersuchungen über die Genauigkeit barometrischer Höhenmessungen und die Veränderungen der Temperatur und Feuchtigkeit der Atmosphäre«. Mit ihr sind nur noch die Abhandlungen PLANTAMOUR's in Vergleich zu ziehen, von denen weiterhin gehandelt werden soll. In die LAPLACE'sche Formel führt er die neuesten Bestimmungen von REGNAULT über die Dichte der Luft und die Dichte des Quecksilbers ein. Bei der Berücksichtigung der Feuchtigkeitsverhältnisse geht er aber zurück auf die schon von BIOT, BRANDES und BAUMGARTEN benutzte einfache Art der Correction, indem er ganz richtig bemerkt, dass die durch grössere Strenge der Entwicklung herbeigeführte Umständlichkeit der BESSEL'schen Formel den geringen und zweifelhaften Gewinn an Genauigkeit nicht aufwiegen könne. Er multiplicirt daher die gewöhnliche LA-

PLACE'sche Gleichung mit einem Faktor $1 + \frac{3}{8}\varphi$, in welchem: $\varphi = \frac{1}{2}\left(\frac{\Sigma}{B} + \frac{\sigma}{b}\right)$ und Σ und σ die Dampfdrücke an der unteren und oberen Station sind. Zu dieser Formel hat er die vorhandenen Tafeln umgerechnet und mit neuen zur Bestimmung des hinzugefügten Faktors vermehrt. Mit diesen Tafeln sind dann 100 Beobachtungen gerechnet, welche er am Hohen Miesing mit einer Anzahl seiner Schüler angestellt hat. Er hatte 5 Stationen in verschiedenen Höhen mit nahezu gleichen vertikalen Abständen gewählt, deren Gesammthöhendifferenz (1068.3^{met}) durch ein Nivellement sehr genau bekannt war.

An drei Stellen wurden gleichzeitig mit Barometer, Thermometer und Psychrometer Beobachtungen angestellt, während an zwei anderen nur Temperatur und Feuchtigkeit gemessen wurde. Er liess in der Zeit von 8^h früh bis 6^h Abends beobachten und benutzte alle Vorsichtsmaassregeln, welche irgend anwendbar sind.

Aus seinen Messungen ging hervor, dass zwischen 10^h früh und 4^h Nachmittag die Höhen zu gross, vorher und nachher aber zu klein gefunden wurden.

Er stellt die Höhendifferenzen seiner Messungen, die er, wie schon früher KÄMTZ, nach einer abgekürzten FOURIER'-schen Reihe ausgleicht, dar durch die Formel:

$$y = -41'.5 + 59'.\sin(x + 70^\circ.3) + 4'.94\sin(2x + 196^\circ.6) + 6'.5\sin(3x + 323^\circ.3),$$

wo x die von Mittag an verflossene Zeit in Bogen ausgedrückt bedeutet.

Die Ursache der täglichen Periode sucht BAUERNFEIND ganz richtig in den Temperaturangaben und nimmt an, dass die Fehler derselben von den Einwirkungen der Bodentemperaturen herrühren. Er berechnet aus seinen gefundenen Abweichungen der Höhen folgende Correctionen für die Thermometer:

8^h	$10^1/_2{}^h$	12^h	$1^1/_2{}^h$	4^h	6^h
$+2.04^{\circ R}$	$0^{\circ R}$	$-0.70^{\circ R}$	$-1.13^{\circ R}$	$-0.16^{\circ R}$	$+1.76^{\circ R}$

um richtige Lufttemperaturen zu erhalten. Selbstverständlich

haben diese nur Gültigkeit für die besonderen Verhältnisse, unter denen er gearbeitet hat.

Dass übrigens die tägliche Periode der barometrisch gemessenen Höhen, welche für unsere Kenntnisse von der thermischen Beschaffenheit der Atmosphäre so wichtig und lehrreich ist, so vielen Schriftstellern und Forschern auf diesem Gebiete hat verborgen bleiben können, ist um so merkwürdiger, da schon HORNER eine Tafel zu construiren gesucht hat, aus welcher man die Abweichungen zu den verschiedenen Tageszeiten für verschiedene Höhen ableiten kann. Auch MARTINS und BRAVAIS haben beide in getrennten Abhandlungen von ihren Erfahrungen über die tägliche Periode Auskunft gegeben, und vor ihnen war dieselbe schon, wie erwähnt, RAMOND und KÄMTZ vollkommen bekannt. Ob auch D'AUBUISSON sich ihres Bestehens klar bewusst war, ist mir aus der mir zugänglichen Literatur nicht vollkommen deutlich geworden. In dem Artikel »Höhenmessen« in GEHLER's physikalischem Wörterbuche von BRANDES und in BAUMGARTNER's noch heute so werthvoller »Mathematische Naturlehre« ist die tägliche Periode deutlich und ausführlich behandelt.

BAUERNFEIND gebührt auf diesem Gebiete das Verdienst die wahre Ursache der Erscheinung in der Wärmestrahlung des Bodens erkannt zu haben.

Gleichzeitig mit des eben Genannten wichtigen Untersuchungen scheint sich PLANTAMOUR mit demselben Gegenstand beschäftigt zu haben. Da es mir leider nicht gelungen ist, alle Abhandlungen von ihm im Original nachsehen zu können, muss ich mich auf die wenigen Andeutungen beschränken, welche ich in Auszügen gefunden habe.

Auch er hat sich mit dem Studium der täglichen Periode beschäftigt und selbst das Bestehen einer jährlichen Periode scheint ihm nicht unbekannt gewesen zu sein.

Um den Charakter der täglichen Periode vollständig zu ermitteln unternahm ich mit meinem Freunde ALBRECHT im Jahre 1864 eine längere Beobachtungsreihe am Valtenberge bei Bischofswerda in Sachsen. Nachdem wir mit mehreren Freunden Ostern jenes Jahres den Höhenunterschied durch sehr sorgfältiges Nivellement genau ermittelt hatten, begannen

wir am 28. August eine Anzahl correspondirender Beobachtungen, welche bis zum 26. September fortgesetzt wurden. Wir erhielten im Ganzen 416 correspondirende Ablesungen und rechneten aus jeder derselben die Höhe. Da die Höhendifferenz aber sehr klein war, 869 Par. Fuss, so konnten trotz der geringen Horizontaldistanz von 6000′ viele sehr wesentliche Fragen bei der Arbeit doch nicht gelöst werden, da gewisse unvermeidliche Beobachtungsfehler bei kleinen Höhen einen ziemlich grossen Einfluss haben. Da 4mal 24 Stunden hindurch ununterbrochen beobachtet wurde, so haben wir die tägliche Periode auf Grund wirklicher, nicht interpolirter Beobachtungen wohl zum ersten Male ihrer ganzen Ausdehnung nach erhalten. Auch ist mir durch die grosse Zahl der Beobachtungen und die Verschiedenheit der Witterungsumstände, unter denen sie angestellt worden sind, mancher werthvolle Fingerzeig für die Leitung meiner weiteren Untersuchungen gegeben gewesen.

Weiterer Ausführungen wegen muss ich auf die nachfolgenden Capitel verweisen, in denen ich diese Arbeiten mehrfach zur Discussion herangezogen habe.

Zum Schlusse muss ich noch einige Umgestaltungen der Formel erwähnen, welche von Crelle und Ritter vorgenommen worden sind. Beide Autoren glauben durch theoretisch scheinbar berechtigte Annahmen über die Temperaturabnahme nach der Höhe bessere Formeln construirt zu haben. Ritter nimmt bei seiner Entwickelung sowohl auf den Feuchtigkeitsgehalt der Luft, als auch auf die Anziehung der oberen Erdschichten Rücksicht und die von Pohl und Schabus auf seine Formel gegründeten hypsometrischen Tafeln konnten bis jetzt wohl als die besten angesehen werden.

II.

Zusammenstellung der wichtigsten Formeln und der Literatur der barometrischen Höhenmessungen.

A. Formeln,

nach chronologischer Aufeinanderfolge.

MARIOTTE: Par. F. $h = 63.z + \frac{3}{8}\left(\frac{z-1}{2}\right)$

worin z die Differenz $B-b$ der Barometerstände an der oberen b und unteren Station in Linien ist.

HALLEY: Tois. $h = 9719 \log \frac{B'}{b'}$

SCHEUCHZER: Tois. $h = 8340 \log \frac{B'}{b'}$

Anmerkung: B' und b' bedeuten durchgängig die abgelesenen, B und b die auf gemeinschaftliche Temperatur reducirten Barometerhöhen.

BOUGUER: Tois. $h = 9667 \log \frac{B'}{b'}$

LAMBERT: Tois. $h = 10000 \log \frac{B'}{b'} - \frac{43-(336-B')}{43+(336+b')}$

TOBIAS MAYER: Tois. $h = 10000 \log \frac{B'}{b'}$

DELUC: Tois. $h = 10000 \left(\frac{1 + \frac{T+t}{2} - 16{,}^{\circ}75\, R}{215}\right) \log \frac{B' + (T-10)\frac{B}{4320}}{b' + (t-10)\frac{b}{4320}}$

wo T und t die Temperaturen der Luft und T' und t' die Temperaturen des Quecksilbers an der obern und untern Station in ^{0}R. bedeuten.

SCHUCKBURGH: Tois. $h = 10000 \left(\frac{1 + \frac{T+t}{2} - 11{,}^{\circ}7\, R}{195}\right) \log \left\{\frac{B'}{b'}\left(1 - \frac{T-t}{4384}\right)\right\}$

Roy: $$\overset{\text{Tois.}}{h} = 10000 \left(\frac{1 + \frac{T+t}{2} - 11.9}{193} \right) \log \left\{ \frac{B'}{b'} \left(1 - \frac{T-t}{4116} \right) \right\}$$

Trembley: $$\overset{\text{Tois.}}{h} = 10000 \left(\frac{1 + \frac{T+t}{2} - 11.5}{192} \right) \log \left\{ \frac{B'}{b'} \left(1 - \frac{T-t}{4320} \right) \right\}$$

Hennert: $$h = 2A \frac{\left(1 + \frac{T}{m}\right) \times \left(1 + \frac{t}{m}\right)}{\left(1 + \frac{T}{m}\right) + \left(1 + \frac{t}{m}\right)} \log \frac{B}{b}$$

Hierbei bedeutet $\frac{1}{m}$ den Ausdehnungscoëfficienten der Luft und A einen von dem Verhältnisse des specifischen Gewichts von Luft und Quecksilber abhängenden Coëfficienten.

Laplace: $$\overset{\text{Tois.}}{h} = 9407.73 (1 + 0.002845 \cos 2\psi) \left(1 + \frac{T+t}{2} 0.004\right) \left(1 + \frac{h}{r}\right) \times$$
$$\times \left(\log \frac{B}{r} + \frac{h}{r} 0.868589\right)$$

Lindenau: $$\overset{\text{Tois.}}{h} = 9442 \left(1 + \frac{T+t}{400} + \frac{(T-t)^2}{4(200)^2}\right) \log \left\{ \frac{B - (\tau' - 10) \frac{B}{4329.6}}{b - (\tau'' - 10) \frac{b}{4329.6}} \right\}$$

worin τ' und τ'' die Temperaturen der Quecksilbersäulen an der unteren und oberen Station bedeuten.

Soldner: $$\overset{\text{Tois.}}{h} = \frac{9398 \{1 + 0.001875 (T+t)\}}{(1 - 0.002837 \cos 2\psi) \left(1 - 0.15 \frac{e'}{B} + \frac{e''}{b}\right)} \times$$
$$\times \left(1 + \frac{h}{r}\right) \left(\log \frac{B}{b} + \frac{h}{r} 0.868589\right)$$

Hierin bedeuten e' und e'' die Dampfspannungen an der unteren und oberen Station.

Baumgartner: $$\overset{\text{Tois.}}{h} = 9394.3 \left(1 + 0.00375 \frac{T+t}{2}\right) \left(\frac{1 + \alpha' + \alpha''}{1800}\right) \log \frac{B}{b} \times$$
$$\times (1 + 0.00284 \cos 2\psi) \left[1 + \frac{h}{r} + \frac{0.86859 \frac{h}{r}}{\log \frac{B}{b}} \right]$$

wobei α' und α'' die Sättigungsgrade

der Luft mit Wasserdampf in Procenten bedeuten.

[B]ESSEL: $$h \overset{\text{Tois.}}{=} 9397.74\left(1+0.00375\,\frac{T+t}{2}\right)\log\frac{B}{b}\left(\frac{1}{1-0.002657\cos 2\psi}\right)\times$$
$$\times\left(1-\frac{\alpha'+\alpha''}{2}\cdot\frac{0.002561}{\sqrt{B.b}}\cdot 10^{0.027912\,\frac{T+t}{2}-0.0000625826\left(\frac{T+t}{2}\right)^2}\right)$$

[…]HM: $$h \overset{\text{Tois.}}{=} 9407.73\left(1+0.00375\,\frac{T+t}{2}\right)\left(\frac{1}{1-0.002657\cos 2\psi}\right)\left(\log\frac{B}{b}+\frac{2mh}{R}\right)$$

[B]AEYER: $$h \overset{\text{Tois.}}{=} \left\{\frac{B}{b}^{\left(0.00375\delta+2\,\frac{1+0.00375\,T}{r+z}\right)4081.56\,(1+0.002593\cos 2\psi)\left(1+\frac{2h}{r}\right)}-1\right\}\times$$
$$\times(1+0.00375\;T)\left(\frac{1}{0.00375\,\delta+2.\,\frac{1+0.00375\,T}{r+z}}\right)$$

Hierin ist $\delta = \frac{T-t}{h}$ und wird zu einer ersten Annäherung $= -\,0.01485$ gesetzt.

[P]LANTAMOUR: $$h \overset{\text{Met.}}{=} H'-H+\frac{H'^2-H^2}{r}$$
$$\log\,(H'-H) = \log\left(\log\frac{B}{b}\right)+$$
$$+\log\frac{398.25\times 18404.8\left(1+0.00367\,\frac{T+t}{2}\right)}{397.25-0.00367\,\frac{T+t}{2}}+\log\frac{1}{1-0.002636\cos 2\psi}+$$
$$+\log\frac{1}{1-\frac{(\alpha+\alpha')\times 0.34807}{\sqrt{B.b\times\left(397.25-0.00367\,\frac{T+t}{2}\right)}}\cdot 10^{0.0307975\,\frac{T+t}{2}-0.00008017\left(\frac{T+t}{2}\right)^2}}$$

H' bedeutet die genäherte absolute Höhe und H die Seehöhe der unteren Station.

[C]RELLE: $$h = \frac{A.\,M.\,\alpha\,(T+t)}{1-0.002636\cos 2\psi}\times\frac{\log\frac{B}{b}}{\log\,(1+\alpha\,T)-\log\,(1+\alpha\,t)}$$

In dieser Formel ist die Abnahme der Schwere nach der Höhe unberücksichtigt geblieben. M ist der Modul der

Briggs'schen Logarithmen, α der Ausdehnungscoëfficient der Luft.

Ritter: $$\overset{\text{Met.}}{h} = \frac{\lambda}{M}\left[1+\left(1+\frac{5}{4}\cdot\frac{l}{r}\right)\frac{\alpha}{2}(T+t)\right]\times$$
$$\times\left[1+\frac{5}{4}\cdot\frac{l}{r}\right]\left[1-\left(1+\frac{5}{4}\cdot\frac{l}{r}\right)\frac{\alpha^2}{12}(T-t)^2\right]\left[\frac{1}{1-0.168\frac{\sigma'}{B}}\right]\times$$
$$\times\left[\frac{1}{1-0.210\frac{\sigma''}{b}}\right]\left[\frac{1}{1-0.005145\cos 2\psi}\right]\left[\frac{(r+h)(r+h')}{r^2}\right]\times\log\frac{B}{b}$$

worin $r = 6378150.4$ Meter, $l = 7516.28$ und $l = \dfrac{\lambda}{1-0.005145\cos 2\psi}$

Bauernfeind: $$\overset{\text{Met.}}{h} = 18404.9\ (1+0.00026\cos 2\psi)\left(1+\frac{2z+h}{r}\right)$$
$$\left(1+\frac{3}{8}\left[\frac{\sigma'}{B}+\frac{\sigma''}{b}\right]\right)\left(1+0.003665\frac{T+t}{2}\right)\left[\log\frac{B}{b}+0.86859\frac{h}{r}\right]$$

z bedeutet die Seehöhe der unteren Station.

Rühlmann:
$$\overset{\text{Met.}}{h} = 18400.2\left(1.00157+0.00367\frac{T+t}{2}\right)\left(1+0.378\frac{\frac{\sigma'}{B}+\frac{\sigma''}{b}}{2}\right)(1-0.00262\cos 2\psi)\times$$
$$\times\left(1+\frac{2z+h}{6378150}\right)\times\log\frac{B}{b}$$

B. Literatur.

Pascal, Traitez de l'équilibre des liqueurs et de la pesanteur de la masse de l'air. Paris 1658.

*Mariotte, Oeuvres de. A la Haye 1740. T. I. p. 174.

*— Discours de la nature de l'air. Leide 1717. p. 149.

Halley, A discurse of the rule of the decrease of the hight of the mercury of the barometer etc.; in: Philos. Transactions 1686 und 1687. T. 16. p. 104.

*Newton, Philosophiae naturalis principia mathematica. Lond. 1686. p. 298.

*) Die mit Sternchen versehenen Arbeiten sind vom Verfasser im Original nachgelesen worden; die übrigen sind ihm nur aus Auszügen und Citaten bekannt.

de la Hire in: Mém. de l'acad. de Paris 1709. p. 176.
Bouguer, La figure de la terre etc. Paris, 1749.
Scheuchzer, The barometrical method of measuring the higth; in: Phil. Transactions. 1728. p. 537.
Fontana, Delle altezze barometriche et di alcuni insigni paradossi, Saggio analitico. Pavia 1771.
*Deluc, Recherches sur les modifications de l'atmosphère. Paris, 1772. Vol. I. p. 102 u. Vol. II. p. 258. Deutsch dasselbe von Wild. Leipzig u. Nürnberg 1776.
Maskelyne in: Philos. Trans. 1774. Nr. 64. p. 160.
Horsley in: Philos. Trans. 1774. Nr. 64. p. 220.
*Kästner, Anmerkungen über die Markscheidekunst nebst einer Abhandlung vom Höhenmessen mit dem Barometer. Göttingen, 1775.
Schuckburgh in: Philos. Transactions. 1777. p. 513.
Roy in: Philos. Transactions. 1777 u. 1778. Nr. 29 u. Nr. 32.
Rosenthal, Beiträge zur Verfertigung und Gebrauch meteorologischer Instrumente. Gotha 1782.
Damen, De montium altitudine barometro metienda. Hagae, 1783.
Wünsch, Neue Theorie von der Atmosphäre und dem Höhenmessen mit dem Barometer. Leipzig 1782.
*Tobias Mayer (Sohn), Unterricht zur praktischen Geometrie. 3. Aufl. Göttingen, 1779. Bd. 2. p. 359—385.
*— Ueber das Ausmessen der Wärme. Nürnberg 1786.
Hennert, Commentatio de altitudinum mensuratione ope barometri. Utrecht 1786.
*Kramp, Geschichte der Aërostatik. Strassburg 1784.
*— Analyse des réfractions terrestres et astronomiques. Chap. I. Strassburg 1798.
Saussure, Voyages dans les Alpes. Vol. II. Neuchâtel 1706.
Oriani in: Ephem. Mediol. 1788.
Trembley, ? in: Voyages de Saussure.
Luz, Vollständige und auf Erfahrung gegründete Beschreibung von allen Barometern, wie sie zu verfertigen, zu berichtigen, übereinstimmend zu machen und zu Höhenmessungen anzuwenden. Nürnberg u. Leipzig 1784.
Caluso in: Mém. de l'acad. di Turino. 1784—1785.
Playfair in: Transact. of the Soc. of Edinburgh. Vol. I. 1788.

Franceschini, Delle altezze barometriche; in: Mem. d. Soc. Italiana. 1790.

*Geutner, Beobachtungen auf Reisen in das Riesengebirge. Dresden 1791.

Wild in: Allg. geogr. Ephem. 1799. S. 385.

*Laplace, Mécanique céleste. Vol. I. Paris 1799. p. 293 etc.

— Oeuvres de, T. IV. p. 324—328. Paris (1823) 1845.

*Puissant, Traité de Géodésie. Paris 1805. Lib. VI. Chap. 5.

Rohde, Ueber Laplace's neue Verbesserung der aus barom. Beobachtungen berechn. Berghöhen. Halle 1802.

*Lindenau, Tables barométriques pour faciliter le calcul des nivellements et des mesures des hauteurs par le baromètre. Gotha 1809.

— Höhenmessungen durch d. Barometer; in: Zach, Monatl. Corr. Bd. XI.

— Ueber Laplace's Ausdruck für Höhenmess. durch d. Barom.; ib. Bd. XIV (1806).

— Ueber bar. Höhenmessungen; ib. Bd. XXII (1811).

*Ramond, Mémoire sur la formule barométrique de la mécanique céleste. Paris, 1808—1811.

Burckhardt, Die Gesetze der Verdichtung elast. Flüssigkeiten angewandt auf d. Höhenmessung mit d. Barom.; in: Zach, Monatl. Corr. Bd. IX. 1804.

d'Aubuisson, Mémoire sur la mesure des hauteurs à l'aide du baromètre; in: Journal de Phys. 1810 Bd. LXXI p. 6.

— Traité de Géognosie. Paris 1819. p. 488.

Andersen in: Zeitsch. f. Phys. u. Math. v. Baumgartner etc. Bd. I. pag. 1.

Bohnenberger in: Naturw. Abhandlungen, Bd. II. p. 183.

*Biot, Tables barométriques portatives etc. Paris, 1811.

*Oltmanns, Tafeln; in: Voyage de Humboldt et Bonpland, Astronomie I., Nivellement barométrique. p. 286, 289. (1811.) — Auszug in: Gilbert's Ann. Bd. XXXVIII. p. 278—288.

Rocagni, Sopra la misura delle altezze col barom.; in: Mem. d. Soc. Italiana. Vol. XIII u. XVI (1806. 1812).

Brandes, Beobachtungen über die Strahlenbrechung. p. 34.

— Beiträge zur Witterungskunde. Leipzig 1820. p. 60.

BRANDES, De repentinis variationibus in pressu aëris observatis. Leipzig 1826.

*— Artikel: »Höhenmessen« in GEHLER's Phys. Wörterbuch u. VOIGT's Magazin.

*GARTHE, Tabellen für barometrische Höhenmessungen. Giessen, 1817.

ULLRICH, De montium altitudine barometro metienda. Göttingen 1818.

*KAST, Kurzer Unterricht im barom. Höhenmessen für Anfänger in dieser Kunst. Göttingen 1814.

?, Nuove tavole barometriche e logaritmiche per facilitare i calcoli delle altezze per mezzo del barometro. Milano 1818.

*BENZENBERG, Von dem Höhenmessen mit dem Barometer; in: GILBERT's Ann. Bd. XXXIII. p. 150—163 (1810).

— Beschreibung eines einfachen Reisebarometers. Nebst einer Anleitung zur leichteren Berechnung der Berghöhen. Düsseldorf 1811.

— Höhere Rechenkunst und Trigonometrie. Düsseldorf 1813. p. 504 u. 514.

— Bemerkungen ü. d. barometr. Nivellement des Harzes des Herrn v. VILLEFOSSE; in: GILBERT's Ann. Bd. XXXVI. p. 333.

— Verschiedene Bemerkungen, welche sich auf das Höhenmessen mit dem Barometer beziehen; in: GILBERT's Ann. Bd. XXXIX. p. 451—467 (1811).

— Das Höhenmessen mit der Quecksilber-Waage. Düsseldorf 1831.

— Ueber den Einfluss der DALTON'schen Theorie auf die Lehre von der Geschwindigk. d. Schalles, vom Höhenmessen mit d. Barom. u. von d. Strahlenbrechung; in: GILBERT's Ann. Bd. XXXXII. p. 155—196 (1812).

— Ueber die DALTON'sche Dampftheorie. Düsseldorf 1830. p. 1—10.

VERINI in: Mém. de Bologna. T. II.

*SOLDNER, Ueber den Einfluss der Feuchtigkeit auf das Höhenmessen mit dem Barometer; in: GILBERT's Ann. Bd. XXXII. p. 204—224. (1809.)

NAVIER, Ueb. barom. Nivellements; in: Astronom. Nachr. Bd. XV (1822).

DANIELL, Meteorological Essays and Observations. London 1823.

* HAHN, Barometr. Tafeln, mit einer Anleitung zur Kenntniss der meteorol. Instrumente etc. Leipzig 1823.

NIXON, Ueber Höhenmessungen mit einem Barometer; in: Annals of Philosophy. 1826. p. 33 u. 64. — Notiz hiervon in: DINGLER's Polyt. Journal. Bd. XX. p. 315.

G. G. SCHMIDT in: HAUFF's physiokr. Briefwechsel. 1810.
— in: Ann. d. Wetterauer Ges. Bd. III. 1811.

J. C. SCHMIDT in: Lehrbuch d. mathematischen und physischen Geographie. Göttingen, 1830. Bd. 2. p. 197—234.

* GAUSS in: Astron. Jahrbuch f. 1818. p. 171; ib. f. 1836 p. 138.

* MOLLWEIDE, Bericht über diese Arbeit in: GILBERT's Ann. Bd. LXII. p. 300.

* DELCROS in: Annales de Chim. et de Phys. Vol. VIII. p. 95.
— in: Bibliothèque univ. de Genève. Vol. VII. p. 236.
— in: Annuaire météorologique de la France. 1849. p. 53.
— in: Meteorological Tables by GUYOT. Washington 1842.

* LITTROW, Ueber d. Höhenmessen durch das Barometer. Wien 1823.
— On the measuring of altitudes by the barometer; in: Mem. of the Astr. Soc. Vol. VII. 1822.

* AUGUST, Tafeln zur Berechnung der Höhen nach Barometerbeobachtungen. Berlin 1824.

* WINKLER, Tafeln zur Berechnung d. Höhen aus beobachteten Baro- u. Thermometerständen etc. Halle 1825.

* WIEMANN, Anleitung zum Höhenmessen mit dem Barometer. Dresden 1828.

* HORNER, Tables hypsométriques. Zürich 1827.
— Auszug aus LINDENAU's Tafeln in: GILB. Ann. XXXIX. p. 470.
— Ueber den Einfluss der Tageszeit auf barometr. Höhenmessungen. Mém. de la Soc. Hélvét. 1833. Bd. II.

* ROGG, Ueber den Einfluss der Feuchtigkeit auf barometrische Höhenmessungen u. deren Correction durch das Psychrometer; in: POGG. Ann. Bd. XIV. p. 337—342.

? Tables hypsométriques pour le baromètre etc. Zuric 1828.

* HEGENBERG, Unterricht im Höhenmessen mit dem Barometer. Bunzlau 1828.

* JAHN, Hypsometrische Tafeln etc. Leipzig 1832.

* BAUMGARTNER, Die Naturlehre nach ihrem gegenwärtigen Zustande mit Rücksicht auf mathem. Begründung. Wien 1831. p. 225—244.

* KÄMTZ, Lehrbuch der Meteorologie. Halle 1831.

— Vorlesungen über Meteorologie. Halle 1840. p. 334.

— Ueber die täglichen Barometerschwankungen auf dem Rigi u. Faulhorn; in: POGG. Ann. Bd. XXVII. p. 345 u. f. (1833).

* POGGENDORFF, Ueber den Höhenunterschied zwischen dem kaspischen u. dem schwarzen Meer; in: POGG. Ann. Bd. XXXII. p. 554—561 (1834).

* BESSEL, Ueber Höhenbestimmungen durch das Barometer; in: Astr. Nachrichten Bd. XII. p. 187 (1835); hieraus POGG. Ann. Bd. XXXVI. p. 187—204.

— Bemerkungen üb. barometrische Höhenmessungen; in: Astr. Nachr. Bd. XV. p. 328—359. (1838.)

* ERMANN, Ueber einige barometrische Beobachtungen und die Folgerungen, zu denen sie veranlassen; in: POGG. Ann. Bd. XIII. p. 260 u. 387.

* FUCHS, Ueber den Einfluss des Terrains auf die Resultate barometrischer und trigonometrischer Höhenmessungen. Wien 1843.

* GALLE, Bemerkungen für barometrische Höhenmessungen; in: POGG. Ann. Bd. 48. p. 58—60. Nachtrag hierzu p. 379—381.

* BABINET, Note sur la correction barométrique relative à la variation de la pesanteur; in: Comptes Rend. Vol. XXVI. p. 265—266 (1848).

FISCHER, Ueber die Grenzen, innerhalb welcher barom. Messungen Zutrauen verdienen. Bern 1846.

* BABINET, Formel für kleine Höhen; in: Comptes Rend. Vol. XXX. p. 309; hieraus in: POGG. Ann. Bd. LXXX. p. 224.

* CRELLE in: Monatsbericht d. k. preuss. Akademie. 1851. S. 196.

BAITZ, Astronomical Tables and Formules. p. 111.

OHM, Grundzüge der Physik. Nürnberg 1854. Abth. 2. p. 182.

CARLINI, Avertenze sulla formula che serve a determinare el altezze per mezzo del barometro; in: Il Nuovo Cimento, Gior-

nale di fisica, di chimica e scienze affina. Vol. III. 425—435; hieraus WARNSTORFF, Hilfstafeln. Berlin, 1845. p. 161.

* DIPPE, Nichtlogarithmische Tafeln zur Reduction von Barometerhöhen auf ein andr. Niveau u. zur Best. von Höhenunterschieden aus Barometerbeobachtungen; in: Astron. Nachrichten Bd. XLVI. p. 113 u. 126.

RITTER, Note sur la mesure des hauteurs par le baromètre; in: Mém. de la Soc. de Phys. et d'Hist. Naturelle de Genève. Vol. XIII. p. 343—372. (Frühere Arbeit hierüber schon ib. 1839.)

PLANTAMOUR, Résumé des observations etc. pendant les dix années 1841 à 1850 suivi de tables hypsométriques d'après la formule de BESSEL; in: Mém. de la Soc. etc. de Genève. Vol. XIII. p. 1.

* — Mesures hypsométriques. 1860.

* MARTINS, Sur l'influence de la distance et la correction horaire des différences de niveau obtenues à l'aide de deux baromètres correspondants; in: Bibl. Univ. de Genève. Vol. VII. p. 185—194.

* BRAVAIS, Sur l'influence qu'exerce l'heure de la journée relativement à la mesure barométrique des hauteurs; in: Compt. Rend. Vol. XXXI. p. 175—177.

STEORKOWSKI, Ueber Höhenmessungen mit d. Barometer; in: GRUNERT's Arch. Bd. XXIV. (1855.)

MINDING, Ueber die angebliche Berichtigung der Formel für barometrische Höhenmessungen; in: KÄMTZ, Repertorium d. Meteorologie. Bd. II. p. 32—35.

* ZECH, Ueber die Formel für das Höhenmessen mit dem Barometer, mit einem Zusatz von PETERS; in: Astr. Nachr. Bd. XLI. Nr. 39.

* PICK, Ueber die Sicherheit barometrischer Höhenmessungen: in: Sitzungsber. d. mathem.-naturw. Classe d. Wiener Akad. Bd. XVI. p. 415.

* BAEYER, Ueber eine neue Formel zum Höhenmessen mit dem Barometer; in: POGG. Ann. Bd. XCVIII. p. 371—396.

* HAIDINGER, (Replik gegen PICK) in: Jahrbuch d. k. k. geol. Reichsanstalt v. 1855. p. 450—453.

POOLE, Observations with the aneroid etc.; in Athenaeum 1856. p. 1157.

*KREIL, Ueber die Bestimmungen der Seehöhe aus dem beobachteten Luftdruck; in: Ber. d. mathem. naturw. Classe d. Wien. Akad. Bd. XX. p. 353—370.

*PREDIGER, Ueber die Genauigkeit barometrischer Höhenmessungen. Klausthal 1860.

*ROGG, Formeln u. Tafeln verschiedener hypsometrischer Aufgaben; in: SCHLÖMILCH's Zeitschrift f. Mathematik. Bd. VII. p. 143—151 (1862).

*GULDBERG, Ueber die Formeln für barometrische Höhenmessungen; in: SCHLÖMILCH's Zeitschrift f. Math. Bd. VII. p. 359—363 (1862).

ROTH, Höhenmessungen in d. Umgegend v. Oberschütz etc.; in: Pressburger Correspondenzblatt d. Vereins für Naturkunde. 1862. p. 33—34.

HIRSCH, Sur la différence de hauteur entre la station météorol. de Chaumont et l'observatoire; in: Bulletin de la Soc. de Neuchâtel. Vol. VII. p. 124.

KERNHUBER, Barometrische Höhenmessungen in Ungarn etc.; in: Verh. d. Pressburger Vereins f. Naturkunde. 1861. p. 70—85 u. p. 125—131.

SAADEBECK, Hypsometrische Mittheilungen über das Eulengebirge u. die Schneekoppe in: Jahresber. d. Schles. Gesellschaft f. vaterl. Cultur. 1861.

BALL, On the determination of heights by means of the barometer; in: Reports of the British Association. 1862. Vol. II. p. 28—291, Athenäum. 1862. Vol. II. p. 498.

*BAUERNFEIND, Beobachtungen u. Untersuchungen über die Genauigkeit barometrischer Höhenmessungen u. die Veränderungen der Feuchtigkeit u. Temperatur der Atmosphäre. München 1862.

*MORITZ, Die Bestimmung der Seehöhe von KASPEK; in: KONER, Zeitschr. f. Erdkunde, Ausgustheft 1865.

*BENDER, Zur Berechnung der barometrischen Höhenformel. Darmstadt 1863.

*POHL u. SCHABUS, Tafeln zur barometrischen Höhenmessung. Wien 1861.

Renny, On a new barometric formula for mountain heights in which the hygrometric condition of the atmosphere is systematically considered; in: Transact. of the Irish Acad. Vol. XXIII. p. 437—488.

— On the constants of the barometric formula which make correct all warce for the hygrometric state of the atmosphere; in: Transact. of the Irish Acad. Vol. XXIII. p. 623—688.

Babbage, Observations on the measurements of height by the barometer; in: Edinburgh Journal of science Nr. 1. p. 85.

*Bauer, Ueber den Einfluss der Dalton'schen Theorie auf die barometr. Höhenmessung und die Eudiometrie; in: Karl's Repertorium f. Experimentalphysik. Bd. IV. pag. 216—224.

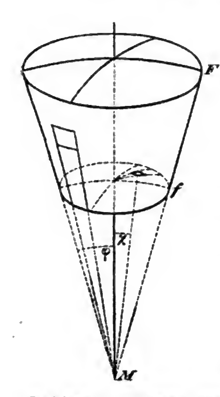
III.

Die Voraussetzungen und Formeln der barometrischen Höhenmessungen.

Bei Ableitung der Formel für barometrische Höhenmessungen wird der Gleichgewichtszustand der Atmosphäre vorausgesetzt.

Um zu den Gleichungen zu gelangen, welche das Bestehen dieses Zustandes ausdrücken, geht man aus von der Betrachtung eines Elementarvolumens und untersucht, welche Kräfte auf dasselbe einwirken.

Bei einer ruhenden freien elastischen Flüssigkeit sind zwischen deren einzelnen Theilchen nur die Cohäsions- und Elasticitätskräfte und die Schwere thätig.



Wir legen der Untersuchung ein Luftvolumen zu Grunde, welches entsteht, wenn aus einem Kreiskegel mit sehr kleinem Oeffnungswinkel φ durch zwei einander sehr nahe liegende Flächen gleichen Druckes, also durch zwei Niveauflächen, ein kleiner Theil herausgeschnitten wird.

Als Spitze des Kegels denken wir uns das Anziehungscentrum der Erde.

Die Axe des Kreiskegels dient zur

Zerlegung und Summirung der gesammten auf das betrachtete Volumen wirkenden Kräfte, da dieselben jedesmal in zu dieser Axe senkrechte und derselben parallele Componenten zerlegt werden.

Bei den geringen Dimensionen kann man die obere und untere Begrenzung des Luftvolumens F und f als Kugelfläche ansehen, deren Mittelpunkt in M liegt und deren Radien $MF \equiv R$ und $Mf \equiv r$ sind. Wirkt nun in der unteren Fläche der Druck p auf jede Flächeneinheit, so wirkt auf ein Element dieser Fläche der Druck:

$$p.\, df \equiv -p.r^2 \sin\chi\, d\psi\, d\chi,$$

wenn ψ den Azimuthalwinkel, gerechnet von irgend einer festen Richtung aus, und χ die Neigung der Richtung der Schwere in dem betreffenden Elemente gegen die Axe des Kegels bezeichnet. In die Richtung der Schwere fällt auch die des Druckes, mithin ist die parallel der Axe des Kegels gerichtete Componente dieses Druckes

$$p.\, df \cos\chi \equiv -p\,.\,r^2 \sin\chi \cos\chi\, d\psi\, d\chi.$$

Um die Resultante dieser sämmtlichen Drücke, d. h. die parallel der Axe gerichtete Componente des Gesammtdruckes zu erhalten, muss in Bezug auf χ von 0 bis φ und in Bezug auf ψ von 0 bis 2π integrirt werden. Mithin ist der resultirende Druck $\mathfrak{p}$

$$\mathfrak{p} \equiv -\pi p r^2 \sin^2\varphi. \qquad 1)$$

Das negative Vorzeichen deutet an, dass der Druck von unten nach oben gerichtet ist.

Für diejenige Componente des Gesammtdruckes auf die obere Fläche F, welche parallel der Axe gerichtet ist, erhält man in gleicher Weise:

$$\mathfrak{P} \equiv +\pi.\,P.\,R^2 \sin^2\varphi, \qquad 2)$$

wenn P den in der Niveaufläche F stattfindenden Druck bezeichnet.

Die senkrecht zur Axe gerichteten Componenten aller hier in Rechnung kommenden Drücke heben sich bei der symmetrischen Lage der Axe auf, da für jeden dieser horizon-

talen Elementardrücke ein gleich und entgegengesetzt gerichteter vorhanden ist.

Auf die Mantelfläche des Volumens wirkt ein mit dem Abstand ϱ von M veränderlicher Druck Π_ϱ. Derselbe ist auf ein Flächenelement

$$\Pi_\varrho \,.\, \varrho \,.\, \sin \varphi \,.\, d\psi \,.\, d\varrho ,$$

und davon wirkt parallel der Axe die Componente

$$\Pi_\varrho \,.\, \varrho \,.\, \sin^2 \varphi \,.\, d\psi \,.\, d\varrho \,.$$

Hiervon das Integral über die ganze Mantelfläche gebildet, giebt als Resultante S des Seitendrucks:

$$S = -2\pi \sin^2 \varphi \int_r^R \Pi_\varrho \,.\, \varrho \,.\, d\varrho \,. \qquad 3)$$

Endlich wirkt noch das Gewicht des Luftvolumens selbst. Bezeichnet $d_\mathfrak{r}$ die Dichte der Luft im Abstand $\mathfrak{r}$ vom Anziehungsmittelpunkt der Erde für den gegebenen Augenblick und (g) die Beschleunigung der Schwere daselbst, so ist das Gewicht eines Elementes

$$= d_\mathfrak{r} \,.\, (g) \,.\, r^2 \,.\, \sin \chi \,.\, d\chi \,.\, d\psi \,.\, dr \,.$$

und die der Axe parallele Componente dieser Kraft

$$= d_\mathfrak{r} \,.\, (g) \,.\, r^2 \,.\, \sin \chi \,.\, \cos \chi \,.\, d\chi \,.\, d\psi \,.\, dr \,.$$

Integrirt man über das ganze Volumen, so findet man die vertikale Componente G des Gesammtgewichtes

$$G = \pi \,.\, \sin^2 \varphi \int_r^R d_r \,.\, (g) \,.\, r^2 \,.\, dr \,. \qquad 4)$$

Auch von dem Seitendruck und dem Gewicht heben immer zwei an Grösse gleiche und entgegengesetzt gerichtete horizontale Componenten, herrührend von zwei zur Axe symmetrisch gelegenen Elementen, einander auf.

Soll mithin Gleichgewicht stattfinden, so müssen auch die der vertikalen Axe parallel gerichteten Kräfte sich aufheben, d. h. es muss

$$\mathfrak{p} + \mathfrak{P} + S + G = 0 \tag{5}$$

sein, oder unter Einführung der betreffenden Ausdrücke kommt man zu der Relation:

$$\left.\begin{array}{l} -p.\,r^2.\,\pi.\,\sin{}^2\varphi + P.\,\pi.\,R^2.\,\sin{}^2\varphi \\ -\,2\,\pi.\,\sin{}^2\varphi \int_r^R r.\,\Pi_{r\cdot}\,dr + \pi.\,\sin{}^2\varphi \int_r^R d_{r\cdot}(g).r^2.dr \end{array}\right\} = 0 \quad 5^{*})$$

Lässt man die gleichen Faktoren weg und stellt sich unter dem betrachteten Volumen selbst ein Element vor, so dass die Integrale sich auf ihre Elemente reduciren und Π_r mit p verwechselt werden kann, so erhält man:

$$-p.r^2 + P.R^2 - 2\,r.\,p.\,dr + d_{r\cdot}\,(g).\,r^2.\,dr = 0 \quad 5^{**})$$

Unter dieser Voraussetzung ist aber auch:

$$\frac{P.R^2 - p.r^2}{R - r} = \frac{d\,(p\,r^2)}{dr}, \tag{6}$$

man erhält mithin als Gleichgewichtsbedingung die Differentialgleichung:

$$d\,(p\,r^2) - 2\,r.p.\,dr + d_{r\cdot}\,(g).\,r^2.\,dr = 0, \tag{7}$$

oder da

$$d(p\,r^2) = 2\,r.p.\,dr + r^2.\,dp \text{ ist,} \tag{8}$$

$$r^2.\,dp + d_{r\cdot}\,(g).\,r^2.\,dr = 0 \tag{9}$$

oder

$$dp = -\,d_{r\cdot}\,(g).\,dr \tag{10}$$

Bezeichnet nun (γ) die Beschleunigung der Schwere an einem Orte, welcher senkrecht unter dem betrachteten auf dem Meeresniveau liegt und nennt man den Erdradius für die betreffende geographische Lage r_0, so setzt man für gewöhnlich

$$(g) = \frac{(\gamma).\,r_0^2}{r^2} \tag{11}$$

Substituirt man nun ferner

$$s = 1 - \frac{r_0}{r} \text{ und } ds = \frac{r_0}{r^2}.\,dr \tag{12}$$

so geht die Differentialgleichnung in die folgende Form über:

$$dp = -\,(\gamma).\,r_0.\,dr.\,ds. \tag{13}$$

Diese Differentialgleichung, welche mit der von LAPLACE

gegebenen vollkommen übereinstimmt, weicht ab von der von OHM aufgestellten, welche lautet:

$$r^2 . dp + 2 p . r . dr + (g) . d_r . r^2 . dr = 0 , \qquad 14)$$

und welche aus der unseren dadurch entsteht, dass man den Seitendruck $- 2 pr\, dr$ vernachlässigt. LAPLACE setzt nämlich in seinen Betrachtungen die Richtungen der Schwere als parallel voraus, während OHM ganz richtig auf die Convergenz derselben nach dem Anziehungscentrum der Erde Rücksicht nimmt. Durch Vernachlässigung des Seitendrucks aber kommt er zu einer fehlerhaften Formel.

ZECH, PETERS, ROGG und die Verfasser einiger Lehrbücher sind ihm, wohl nur vorübergehend, in diesem Irrthume gefolgt; derselbe hat durch MINDING und GULDBERG vollkommene Widerlegung gefunden.

Ehe man jedoch an die Integration der Gleichung gehen kann, muss man die Abhängigkeit der in ihr enthaltenen Grösse von den Integrationsvariabeln bestimmen.

Die Integration wird späterhin behufs Ableitung der Höhenformel ausgeführt zwischen den Endpunkten einer vertikalen Luftsäule oder allgemein zwischen 2 Punkten, welche auf zwei verschiedenen, aber als einander parallel vorausgesetzten Niveauflächen liegen.

Ist nun die Dichte der Luft bei einer Temperatur $= t^0$ und einem beliebigen Drucke $= d_\tau$, so ist dieselbe unter demselben Drucke, aber bei 0^0 alsdann δ_τ und

$$d_\tau = \frac{\delta_\tau}{1 + \alpha t}, \qquad 15)$$

wenn unter α der Ausdehnungscoëfficient der Luft verstanden wird.

Man sieht also, die Dichte der Luft ist eine Funktion der Temperatur. Nun ist aber andererseits bekannt, dass im Allgemeinen die Temperatur der Luft nach der Höhe zu abnimmt, mithin ist die Dichte der Luft auch aus diesem Grunde eine Funktion der Höhe.

Da jedoch die Natur dieser Funktion bis jetzt noch nicht endgültig bestimmt worden ist und, wie später gezeigt werden soll, wir von der Temperatur der Luftschichten, in Folge der Strahlungseinflüsse der Umgebung, eigentlich bis jetzt nur

sehr unzuverlässige Kenntniss haben und durch die Ablesung von Thermometern erlangen können, so nehmen wir zur Vereinfachung der Rechnung die Temperatur der Luft als constant an. Für gewöhnlich benutzt man einfach das arithmetische Mittel der an der obern und untern Station stattfindenden Temperatur. Sind diese letztern also τ' und τ'' so fügt man in der Rechnung die Temperatur

$$\tau = \frac{\tau' + \tau''}{2} \qquad 16)$$

ein.

Ferner ist die Dichte der Luft bekanntlich abhängig von dem Drucke. Den Luftdruck misst man durch die Höhe b einer Quecksilbersäule von der Temperatur 0^0, welche dieser das Gleichgewicht hält. Ist nun (g) die Beschleunigung der am Orte stattfindenden Schwere und D die Dichte des Quecksilbers, so ist:

$$p = (g) . D . b \qquad 17)$$

Ist ferner die Dichte der Luft an einem Orte, wo die Beschleunigung der Schwere γ ist, bei 0^0 und 760^{mm} Druck $= \Delta$ und bezeichnet man mit p den Druck, der bei t^0 und einer Beschleunigung der Schwere $= (g)$ die Dichte d_τ, und ferner mit $\gamma . D . 760$ den Druck, der bei t^0 die Dichte Δ' hervorbringt, so ist nach dem MARIOTTE'schen Gesetz:

$$p : \gamma . D . 760 = d_\tau . : \Delta' \qquad 18)$$

$$p = \frac{\gamma . D . 760 . d_\tau . (1 + \alpha t)}{\Delta} \qquad 19)$$

und hieraus:

$$d_\tau = \frac{p . \Delta}{\gamma . D . 760 . (1 + \alpha t)} \qquad 20)$$

Die Luft der Atmosphäre besteht aber nicht aus reiner Luft allein, sondern ihr ist stets eine veränderliche Menge Wasserdampf beigemengt.*) Für den Wasserdampf wird, gerade so wie für Luft, die Formel 20) gelten. Die Dichte d' desselben ist somit:

---

*) Hierbei ist davon abgesehen, dass bei verschiedenen Höhen die Mischungsverhältnisse der Gase, aus denen die Atmosphäre besteht, nach der DALTON'schen Theorie verschiedene sein müssen; da der aus der Vernachlässigung dieses Umstandes hervorgehende Fehler jedenfalls ein verschwindender ist.

$$d_r' = \frac{p'.\Delta'}{\gamma.D.760(1+\beta t)}, \tag{21}$$

wenn p' der Druck, t die Temperatur ist, unter der sich der Wasserdampf befindet, und wenn man unter Δ' die Dichte desselben bei 0^0 und 760 Millimeter Druck an einem Orte versteht, an welchem die Beschleunigung der Schwere $= \gamma$ ist. Setzt man nun $p' = \varphi P$, wo bei man unter P den Druck des Gemisches versteht, und berücksichtigt, dass die Dichte ϑ des Gemisches sich aus den Dichten beider Gase zusammensetzt, so hat man:

$$\vartheta = \frac{1}{\gamma.D.760}\left\{\frac{p.\Delta}{1+\alpha t} + \frac{P.\varphi.\Delta'}{1+\beta t}\right\} \tag{22}$$

Da nun $P = p + P.\varphi$ sein muss, so ist auch (23)

$$p = P(1-\varphi) \tag{24}$$

und folglich

$$\vartheta = \frac{P}{\gamma.D.760}\left\{\frac{(1-\varphi).\Delta}{1+\alpha t} + \frac{\varphi.\Delta'}{1+\beta t}\right\} \tag{25}$$

Setzt man hierin annäherungsweise $\alpha = \beta$ und vernachlässigt, da $\alpha = \beta$ sehr klein ist, Grössen, welche mit höheren als der ersten Potenz dieser Werthe multiplicirt sind, so erhält man:

$$\vartheta = \frac{P}{\gamma.D.760}\{\Delta - \varphi(\Delta - \Delta')\}\{1-\alpha t\}; \tag{26}$$

φ bedeutet hierin den Quotienten aus dem Dunstdruck und dem Gesammtdruck der trockenen und feuchten Luft. Auch der Wasserdampf der Atmosphäre ist mit der Höhe veränderlich, man kennt aber das Gesetz seiner Abhängigkeit von der Höhe nicht, und nach den Erfahrungen Regnault's und Lamont's ist es sogar wahrscheinlich, dass selbst an ziemlich nahe liegenden Orten der Wasserdampfgehalt der Luft sehr verschieden sein kann. Es genügt daher, für φ das arithmetische Mittel der an der oberen und unteren Station stattfindenden Grössen dieses Werthes zu setzen.

In der von uns entwickelten Differentialgleichung bedeutet d_r und p dasselbe, was wir in unserer letzten Formel ϑ und P genannt haben. Setzen wir daher diesen gefundenen Werth für d_r ein, so erhalten wir:

$$\frac{dp}{p} = \frac{-(\gamma).r_0\{\Delta - q(\Delta - \Delta')\}(1-\alpha t)}{\gamma.D.760} ds. \qquad 27)$$

Hierin sind nur p und s veränderlich.

Integrirt man also zwischen 2 Punkten, deren Abstände vom Erdmittelpunkte r' und r'' sind, so entsprechen diesen die Drücke p' und p''. Auf der rechten Seite der Gleichung aber hat man zu integriren von

$$s' = 1 - \frac{r_0}{r'} \text{ bis } s'' = 1 - \frac{r_0}{r''}.$$

Mithin erhält man:

$$\int_{p'}^{p''} \frac{dp}{p} = \frac{-(\gamma)r_0\{\Delta - q(\Delta - \Delta')\}(1-\alpha t)}{\gamma.760.D} \int_{s'}^{s''} ds \qquad 28)$$

$$\log.\text{ nat } \frac{p''}{p'} = \frac{-(\gamma).r_0\{\Delta - q(\Delta - \Delta')\}(1-\alpha t)}{\gamma.760.D} \cdot \frac{r_0(r''-r')}{r''.r'} \qquad 29)$$

Berücksichtigt man ferner, dass $p = b.g.D.$ so folgt

$$\frac{p''}{p'} = \frac{b''}{b'} \cdot \frac{g''}{g'} \qquad 30)$$

Nun setzt man für gewöhnlich

$$\frac{g''}{g'} = \frac{r'^2}{r''^2} = \frac{r'^2}{r_0^2} : \frac{r''^2}{r_0^2}.$$

Poisson giebt unter Rücksicht auf die Anziehung der Gebirgsschichten, welche sich vom Meeresniveau bis zur betreffenden Station erstrecken, statt $\left(\frac{r'}{r_0}\right)^2$ den Werth:

$$1 + \frac{r'-r_0}{r_0}\left(2 - \frac{3}{2}\delta\right)$$

wo δ die Dichte dieser Schichten bezeichnet, die mittlere Dichte der Erde als Einheit genommen. Mithin erhält man:

$$\frac{g''}{g'} = \frac{1 + \frac{r'-r_0}{r_0}\left(2 - \frac{3}{2}\delta\right)}{1 + \frac{r''-r_0}{r_0}\left(2 - \frac{3}{2}\delta\right)}, \qquad 31)$$

wofür annäherungsweise gesetzt werden kann:

$$\frac{g''}{g'} = 1 + \frac{r'' - r'}{r_o}\left(2 - \frac{3}{2}\,\delta\right)$$

Hiernach ist:

$$\text{log. nat} \frac{p''}{p'} = \frac{1}{M}\left\{\text{log. brigg.} \frac{b''}{b'} + \frac{r'' - r'}{r_o} \,.\, M\left(2 - \frac{3}{2}\,\delta\right)\right\} \quad 32)$$

wobei M der Modulus des Briggs'schen Logarithmensystems ist. Führt man diese Grössen ein und reducirt auf die Grösse $r'' - r' \equiv h$, so erhält man die Formel:

$$h = \frac{\gamma . 760 . D(1 + \alpha t)}{M . (\gamma) . \{\varDelta - \varphi(\varDelta - \varDelta')\}} \cdot \frac{r'(r'+h)}{r_o^2}\left\{\log \frac{b'}{b''} + \frac{h}{r_o} M . \left(2 - \frac{3}{2}\,\delta\right)\right\} \quad 33)$$

Führt man endlich noch ein: $\varDelta' \equiv k\varDelta$ und $1 - k \equiv c$ und beachtet, dass wenn man $r' = r_o + z$ setzt $\frac{r'(r'+h)}{r_o^2}$ sehr nahe gleich $1 + \frac{2z+h}{r_o}$ ist, so erhält man:

$$h = \frac{\gamma . 760 . D}{M(\gamma)\varDelta} \cdot (1 + \alpha t) . \frac{1}{1 - \varphi . c}\left\{1 + \frac{2z+h}{r_o}\right\} \times$$

$$\times \left[\{\log b' - \log b''\} + \frac{h}{r_o} M . \left\{2 - \frac{3}{2}\,\delta\right\}\right] \quad 34)$$

als Formel für barometrische Höhenmessungen.

In diesen Formeln müssen nun die numerischen Werthe der einzelnen Grössen eingeführt werden. Was zunächst die Grösse (γ) betrifft, so bedeutet dieselbe hier nach S. 38 die Beschleunigung an einem Orte, welcher senkrecht unter dem betrachteten auf dem Meeresniveau liegt. Ist ferner die Beschleunigung der Schwere am Aequator $= g$, so ist dieselbe unter einer Breite ψ

$$(\gamma) = g + a \sin^2\psi.$$

Nach den sehr sorgfältigen Untersuchungen Baily's*) ist hierbei:

$$(\gamma) = 9.7806 + 0.05145 \sin^2\psi$$

$$\text{oder } (\gamma) = 9.8063 - 0.02572 \cos 2\psi. \quad 35)$$

Ferner bedeutet $\varDelta$ die Dichte der Luft an einem Orte, wo γ

---

*) Memoirs of the Astronomical Society. Vol. VII. p. 102.

die Beschleunigung der Schwere ist, bei 0^0 und 760^{mm} Druck. Ist nun γ die Beschleunigung der Schwere an einem Orte, dessen Seehöhe $= 0$ und dessen Breite $= 45^0$ ist, so ist zunächst nach Obigem $\gamma = 9.8063$; mithin

$$\frac{(\gamma)}{\gamma} = 1 - 0.026228 \cos 2\psi$$

und nach den Zahlen, welche LASCH *) aus den Versuchen REGNAULT's ableitet:

$$\varDelta = 1.29278.$$

Diese Zahl drückt das Gewicht eines Liters reiner Luft in Grammen aus.

In der Atmosphäre finden wir aber immer, abgesehen von dem Wasserdampf, welcher besonders berücksichtigt wird, auch noch einen Gehalt an Kohlensäure und Ammoniak. Während der Letztere seiner Kleinheit wegen (0.0004%) ganz vernachlässigt werden kann, muss man auf den Gehalt an Kohlensäure, welcher im Mittel 0.04% ist, Rücksicht nehmen. Demnach vergrössert sich die vorhin gefundene Zahl auf: 1.293024 ($\log = 0.1106076$).

D, die Dichte des Quecksilbers oder, um den Vergleich mit der vorigen Zahl zu erhalten, das Gewicht eines Liters Quecksilber ist nach REGNAULT**): 13595,93 ($\log = 4.1334090$). Da Alles sonst in Metern ausgedrückt ist, setzt man statt 760^{mm} besser 0.76^{met}. Ferner ist M Modulus des BRIGGS'schen Logarithmensystemes, mithin ergiebt sich die sogenannte Barometerconstante der Formel:

$$K = \frac{0,76 \cdot D}{M \cdot \varDelta} = 18400,2^{met} \; (\log = 4.264822) \qquad 36$$

Nach den Bestimmungen REGNAULT's *) ist der Ausdehnungscoëfficient der Luft in dem Falle, wo sich dieselbe frei unter Beibehaltung ihres Druckes ausdehnt:

$$\alpha = 0.00367.$$

---

*) POGG. Ann. Ergänzungsband III. p. 329.

**) Relations des expériences entreprises pour déterminer les principales lois et les donnés numériques, qui entrent dans le calcul des machines à vapeur; pag. 43. — Hieraus in: POGG. Ann. Bd. 74. p. 202—213.

Die Dichte des Wasserdampfes, ausgedrückt in Bruchtheilen derjenigen der Luft, also in unserer Formel c, nehmen wir gleichfalls nach den REGNAULT'schen Angaben an zu

$$k = 0.6219; \quad c = 1 - k = 0.378 \qquad 37)$$

Für den Radius r_0 der Erde, welcher eigentlich eine Funktion der Breite ist, setzen wir den mittleren Erdradius R. Dieser ist aber nach der von DROBISCH*) gegebenen Gleichung:

$$R = a\left\{1 - \frac{1}{8}(2k - k^2)^2 - \frac{1}{360}(2k - k^2)^4\right\} \qquad 38)$$

worin a die halbe grosse Erdaxe ist und k die Abplattung bedeutet:

$$R = 6378150^{\text{met}}.$$

Für δ, die Dichte der oberen Erdschichten ausgedrückt in Einheiten der mittleren Dichte der Erde, setzen wir, gestützt auf A. v. HUMBOLDT's**) Annahme, annäherungsweise:

$$\delta = \frac{1}{2};$$

hiernach ist

$$2 - \frac{3}{2}\delta = \frac{5}{4}.$$

Setzt man nun alle numerischen Werthe in die Formel ein, so nimmt dieselbe folgende Gestalt an:

$$\overset{\text{met}}{h} = 18400.2\left(1 + 0.00367\,\frac{t' + t''}{2}\right)\left(1 + 0.378\,\frac{\varphi' + \varphi''}{2}\right) \times$$
$$(1 + 0.002623 \cos 2\psi)\left(1 + \frac{2z + h}{6378150}\right) \times \qquad 39)$$
$$\left(\log b' - \log b'' + \frac{h.\,0.43729}{6378150} \cdot \frac{5}{4}\right)$$

Das letzte Glied der rechten Seite lässt sich aber noch vereinfachen. Man kann nämlich für h angenähert setzen:

$$\overset{\text{met}}{h} = 18400.2.\left(1 + 0.00367\,\frac{t' + t''}{2}\right) \log \frac{b'}{b''} \qquad 40)$$

---

*) Sitzungsberichte d. K. Sächs. Gesellschaft d. Wissenschaften. Math.-Phys. Klasse. Juli 1858.

**) Kosmos. Bd. IV. p. 33.

und wenn man dies einsetzt, geht das letzte Glied über in:

$$\log \frac{b'}{b''} \left(1.00157 + 0.00000575 \frac{t' + t''}{2}\right)$$

und damit die barometrische Formel in die folgende:

$$h^{met} = 18400.2 \left(1.00157 + 0.00367 \frac{t' + t''}{2}\right) \left(1 + 0.378 \frac{\varphi' + \varphi''}{2}\right) \times$$

$$(1 + 0.002623 \cos 2\psi) \left(1 + \frac{2z + h}{6378150}\right) \log \frac{b'}{b''}, \qquad 41)$$

in welcher Gestalt sie ohne Weiteres zur Rechnung dienen kann.

Tabellen, welche zur Erleichterung der Rechnung mit dieser Formel dienen, finden sich am Schlusse.

IV.

Erfahrungsresultate über barometrische Höhenmessungen.

Die Erfahrungen über barometrische Höhenmessungen, so gross deren Zahl auch scheint und so viel auch über diesen Gegenstand geschrieben worden ist, lassen sich auf verhältnissmässig wenige Sätze zusammen drängen, wenn man nur das wirklich Feststehende und durch gute und zahlreiche Beobachtungen Bewiesene aufnimmt und alle unsicheren Angaben ausscheidet.

Die Sätze lauten folgendermassen:

I. Die aus Barometer- und Thermometerbeobachtungen berechneten Höhen sind im Allgemeinen am Tage wesentlich grösser als bei Nacht; sie zeigen eine bedeutende tägliche Periode.

Diese Erscheinung ist, wie schon früher erwähnt, von Saussure bei seinen 83 Beobachtungen am Col de Géant wohl bemerkt, aber nicht berücksichtigt worden. Mit Zuverlässigkeit ist dieselbe erst von Ramond erkannt. Es scheint diese wichtige Thatsache merkwürdigerweise verhältnissmässig wenig beobachtet worden sein, denn Horner, Kämtz, Martins, Bravais, Bauernfeind, Plantamour, Moritz glaubten alle mit derselben eine neue Entdeckung gemacht zu haben, während andere nicht unbedeutende Autoren auf diesem Gebiete, wie Fuchs, Bessel, Kreil, Erman, Pick, Prediger

dieselbe entweder ganz übersehen oder doch unterschätzt zu haben scheinen, da sie unwesentliche Kleinigkeiten corrigiren, deren Einfluss gegen die tägliche Periode ganz verschwindend ist, und diese kaum erwähnen. Zu jener Zeit, als ich mich mit barometrischen Höhenmessungen zu beschäftigen anfing, war mir nur BAUERNFEIND's vorzügliche Abhandlung als das Neueste und Vollständigste bekannt. Diese Untersuchung aber, die doch vor Allem der Berücksichtigung der täglichen Periode gewidmet schien, beruhte auf Beobachtungen, welche unter verhältnissmässig ungünstigen äussern Verhältnissen angestellt worden waren und die sich auch nur über einige bequeme Tagesstunden weniger Tage erstreckten, so dass mit dieser Arbeit, weder der wissenschaftliche noch der praktische Theil der Aufgabe als gelöst angesehen werden konnte.

Dieser Mangel veranlasste mich mit meinem Freunde Dr. ALBRECHT eine Untersuchung über diesen Gegenstand am Valtenberge in Sachsen vorzunehmen.

Unsere Beobachtungen besitzen vor allen anderen ähnlichen den Vorzug, dass unter ihnen 4 waren, welche über den ganzen Verlauf einer vierundzwanzigstündigen Periode sich erstreckten. Auch die übrigen Beobachtungen, welche an den Tagesstunden der Zeit vom August bis September erhalten worden sind, haben auf meine Erkenntnisse in diesem Gebiete wesentlichen Einfluss ausgeübt.

Bei weiterem Verfolg der durch die Resultate angedeuteten Gesetze sah ich jedoch bald, dass die geringe Höhendifferenz, 869 Par. Fuss, nicht genügen konnte, dass hier die zufälligen Beobachtungsfehler sich noch sehr bedeutend mit den regelmässigen Abweichungen mischen und deren Erkenntniss erschweren mussten.

Aus dem Grunde bildete ich mir noch 6jährige Mittel für alle Monate aus den gleichzeitigen Beobachtungen in Genf und am St. Bernhard. Es wird schon seit langem an diesen beiden Orten zu allen geraden Stunden gleichzeitig beobachtet und nur einige wenige fehlende Nachtstunden werden durch gut anschliessende Interpolationsformeln aus den übrigen berechnet.

Es ergiebt sich daraus über den allgemeinen Charakter der täglichen Periode Folgendes:

Die barometrisch bestimmten Höhen erreichen ihr Maximum kurz vor der Zeit der höchsten Tagestemperatur, also meist gegen 1^h, sinken dann rasch während des Nachmittags, langsamer während der Nacht und erreichen ihren kleinsten Werth ungefähr eine bis zwei Stunden vor Sonnenaufgang. Von dem Minimum aus steigt dann die Curve sehr rasch und steil bis zum Maximum gegen Mittag.

Ein kleines relatives Maximum ungefähr $2^1/_2$ Stunde vor dem Minimum scheint mehrfach angedeutet, tritt aber nicht überall unzweifelhaft hervor.

Die tägliche Periode zeigt sich ferner nur deutlich bei Tagen, an denen bei nahe wolkenlosem Himmel eine regelmässige Bestrahlung durch die Sonne bei Tage und eine ungestörte Ausstrahlung der Wärme des Erdbodens gegen den kalten Himmelsraum stattfindet.

An trüben oder windigen Tagen vermindert sich die Amplitude der Periode sehr, ohne jedoch ganz zu verschwinden.

Die Grösse der täglichen Periode ist ausser von der Jahreszeit auch von den localen Verhältnissen abhängig; sie scheint besonders dann wesentlich hervor zu treten, wenn die Ein- und Ausstrahlungsfähigkeit des Bodens gross und die Wärmecapacität desselben gering ist.

Nur für kurze Zeit kann dieselbe durch zufällige Störungen der normalen Verhältnisse ganz zum Verschwinden gebracht werden.

Zur Veranschaulichung sind die vierundzwanzigstündigen Beobachtungsreihen beigefügt, welche wir an den Tagen: 31. August bis 1. September, 9. bis 11. September, 13. bis 14. September und 21. bis 22. September am Valtenberge erhalten haben.

Die erste und dritte derselben sind bei verhältnissmässig klarem Witterungscharakter erhalten worden, die beiden anderen sind aber bei bewölktem Himmel oder heftigem Winde angestellt.

Die Höhendifferenzen dieser Beobachtungsreihen, d. h. die Abweichungen der durch die Formel gefundenen Höhen von der wahren Höhe, sind mit Hülfe der Methode der kleinsten Quadrate durch eine periodische Funktion, eine abgekürzte FOURIER'sche Reihe, dargestellt worden, von der Form:

$$\Delta h = A + B \sin\left(\beta + \frac{2\pi}{K} x\right) + C \sin\left(\gamma + \frac{4\pi}{K} x\right) + D \sin\left(\delta + \frac{6\pi}{K} x\right) + \ldots .$$

Es haben sich folgende Werthe ergeben:

31. Aug. — 1. Sept.:

$$y = -1'.31 + 9'.18 \sin(x + 78^\circ.25) + 5'.62 \sin(2x + 166^\circ.0) + 2'.17 \sin(3x + 123^\circ.0);$$

13. — 14. Sept.:

$$y = +0'.72 + 8'.35 \sin(x + 70^\circ.57) + 4'.83 (\sin 2x + 111^\circ.0) + 1'.15 \sin(3x + 87^\circ.31);$$

9. — 10. Sept.:

$$y = -11'.54 + 5'.25 \sin(x + 108^\circ.6) + 1'.87 \sin(2x + 99^\circ.0) + 3'.49 (\sin 3x + 10^\circ.5);$$

21. — 22. Sept.:

$$y = 14'.92 + 4'.52 \sin(x + 126^\circ.4) + 2'.06 (\sin 2x + 99^\circ.2) + 3'.76 \sin(3x + 226^\circ.9)$$

Da in der Abend und Mittagszeit einige Male nur ganzstündig beobachtet worden ist, so sind die daselbst fehlenden Zahlen durch Interpolation mit Zuziehung zweiter Differenzen gefunden worden.

Aus diesen Formeln sind nun auch rückwärts nach Weglassung der ersten Constanten und des letzten Gliedes die Werthe Δh gerechnet worden.

Man erkennt aus den Zahlen und zumal den graphischen Darstellungen derselben die überraschende Uebereinstimmung je zweier ihrem Witterungscharakter nach zusammengehöriger Reihen. Die Conformität ist um so überraschender,

als alle 4 Reihen aus Tagen abgeleitet worden sind, von denen die einen weder als Muster für vollkommen gestörte, noch die anderen als Muster für vollkommen ungestörte Ausstrahlungsverhältnisse gelten können.

Die Uebereinstimmung der Reihen jedes Paares tritt übrigens erst in den ausgeglichenen Werthen hervor, während die ursprünglich gefundenen Höhendifferenzen sehr wesentlich verschieden sind. Es ist ferner zu bemerken, dass bei trübem Witterungscharakter die Amplitude der Periode sich ungefähr auf die Hälfte derjenigen bei klarem Wetter reducirt hat.

Die Beobachtungsergebnisse nebst ihren wesentlichsten Resultaten finden sich auf den nachfolgenden Tabellen I—IV (Seite 50—57). Zum Verständniss derselben ist nichts hinzuzufügen. Die graphischen Darstellungen auf Tafel I sind besonders geeignet einen raschen Ueberblick zu geben.

Den Verlauf der täglichen Periode erkennt man ferner aus den Beobachtungen, welche in Genf und auf dem St. Bernhard angestellt worden sind.

Da 6jährige Monatsmittel zu Grunde gelegt sind, so ist jeder Werth der Tabelle das Mittel aus ungefähr 180 einzelnen Ablesungen. Man kann also annehmen, dass sich die Zufälligkeiten gegenseitig aufgehoben haben und die Werthe nicht sehr von den normalen Verhältnissen entfernt sein werden. Eine Trennung der Witterungscharaktere hat allerdings nicht stattgefunden, so dass die erhaltenen Zahlen nur für die mittleren Bewölkungsverhältnisse in den einzelnen Monaten und für die mittlern Bewegungszustände der Atmosphäre gültig sind. Die Werthe nebst den zu ihrer Berechnung dienenden Daten findet man in Tabelle V und VI (Seite 58—61) und die graphischen Darstellungen derselben auf Tafel II und III.

Ta

24stündige Beobachtungsreihe vom 31. August zum 1. Sept

Stunde der Beobachtung	Lufttemperatur in °C.		Dunstdruck in Par. Lin.		Relativer Feuchtigkeitsgrad in %		Barometerstand auf 0° u. Normalbarom. reducirt		Berechnete Höhe
	Neukirch	Valtenberg	Neukirch	Valtenberg	Neukirch	Valtenberg	Neukirch	Valtenberg	
							'''	'''	Par. Fuss
12h 0m	20.16	18.31	4.11	3.22	53	48	327.23	316.55	879.7
1h	21.30	19.01	4.46	3.38	54	46	327.13	316.52	877.3
30m	20.82	19.68	4.42	3.03	55	41	327.16	316.56	876.1
2h	21.30	20.66	3.93	3.19	47	41	327.06	316.49	876.3
30m	22.05	20.55	3.60	3.95	42	51	327.02	316.42	880.0
3h	20.80	19.70	4.19	4.05	52	54	327.00	316.43	874.7
30m	20.40	20.01	4.37	3.79	55.5	50	326.97	316.44	871.4
4h	20.22	19.00	4.39	3.44	57	48	326.88	316.36	868.9
30m	20.04	19.35	5.00	3.44	52	46	326.87	316.40	864.6
5h	19.60	19.79	4.19	3.51	56	46	326.88	316.38	867.2
30m	19.95	19.28	4.22	3.85	54.5	53	326.88	316.40	865.4
6h	19.70	19.31	4.24	3.81	56	53	326.82	316.32	866.9
7h	17.28	18.10	4.79	3.18	74	48	326.85	316.36	860.8
8h	14.30	17.06	4.15	2.91	78	47	326.95	316.35	863.4
9h	13.20	17.12	3.99	3.46	80	55	327.05	316.33	871.1
10h	13.46	17.02	3.88	3.45	77	55	327.02	316.36	866.5
30m	13.00	17.25	3.89	3.34	79.5	52.5	326.94	316.36	860.1
11h	11.85	17.25	3.70	3.34	81	52.5	326.96	316.35	860.1
30m	11.82	17.15	3.70	3.33	81	52	326.96	316.37	858.1
12h	12.00	16.80	3.63	3.21	79	52	326.93	316.31	860.7
30m	12.60	16.69	3.65	3.24	76	53	326.94	316.33	860.9
1h	12.72	16.00	3.74	3.54	77	60	326.94	316.34	859.6
30m	12.60	16.19	3.63	3.35	76	56	326.93	316.26	865.0
2h	13.50	16.11	3.63	2.91	72	49	326.84	316.20	864.2
30m	14.05	16.21	3.74	3.02	72	51	326.86	316.19	867.1
3h	13.49	16.31	3.57	3.02	71	51	326.83	316.21	862.1
30m	13.56	16.25	3.56	2.97	70.5	50	326.82	326.17	865.1
4h	13.45	16.75	3.53	3.04	70.5	50	326.77	316.17	861.5
30m	12.90	16.37	3.65	3.11	75	52	326.73	316.14	860.6
5m	13.17	16.14	3.56	3.25	72	54	326.70	316.16	854.5
30m	13.52	16.82	3.77	3.64	74	59	326.59	316.12	851.9
6h	11.92	14.81	3.53	3.49	78	63.5	326.58	316.06	850.5
7h	17.17	14.81	3.99	3.44	60.5	62	326.57	316.01	862.1
30m	18.08	14.96	4.24	3.38	63	62	326.63	315.98	871.2
8h	18.72	15.55	3.99	3.22	56	56	326.64	315.98	873.4
30m	19.02	15.91	3.93	3.73	54	64	326.60	315.93	875.8
9h	21.10	17.00	4.00	3.92	49	63	326.57	315.99	873.4
30m	21.47	18.51	4.05	3.65	49	53	326.62	316.01	877.9
10h	22.42	18.69	4.07	3.62	46	51	326.62	316.01	879.5
30m	22.58	18.62	3.94	3.64	44	51	326.61	316.02	878.5
11h	22.30	19.95	4.05	4.01	46	53	326.61	315.99	882.8
12h	22.80	20.21	4.38	3.96	48.5	52	326.58	315.94	885.9
Mittel	16.98	17.66	4.01	3.43	63.5	52.5	326.94	316.25	867.7

am Valtenberg bei Bischofswerda in Sachsen.

…lkung, und Art	Wolkenzug, Richtung und Geschwindigkeit	Wind Richtung	Wind Stärke Klgm. □Met.	Sonnenschein	Bemerkungen	Lufttemperaturen	Stunde der Beobachtung
n, Strat	W 2	SSW	2	⊙		15.6	12h 0m
n	W 2	W	3	⊙		17.4	1h
						17.8	30m
n	WNW 1—2	W	schwach	⊙		18.6	2h
						17.8	30m
n	W 1	S	schwach	⊙ thlw.		19.0	3h
						19.4	30m
n		S	sehr schwach	⊙ thlw.	Entsteht ein feiner Nebel der die Aussicht schwächt, gegen 7h aber wieder gelöst ist.	19.7	4h
						21.0	30m
n		S	schwach	⊙		20.3	5h
						21.5	30m
Strat		S	äusserst schwach	⊙		20.2	6h
Strat		?		⊙		20.5	7h
		?	schwach			18.3	8h
Während der Nacht vollkommen klarer Himmel.	Nicht beobachtbar.	S		Klarer Sternhimmel.		14.4	9h
		S	schwach			16.0	10h
						18.2	30m
		SSO	schwach			17.4	11h
						17.9	30m
		SSO	3			17.1	12h
						17.4	30m
		SO	4			17.6	1h
						17.7	30m
		SO	4			16.5	2h
						15.7	30m
		SO	5.5			17.1	3h
						16.3	30m
		SO	2			17.6	4h
						17.8	30m
		SSO	2.5			19.2	5h
						20.9	30m
Strat		SSO	4.5	⊙		19.6	6h
Strat		SSO	5	⊙		18.3	7h
						15.9	30m
Strat		SSW	6	⊙		15.7	8h
						15.3	30m
Cir, Cirstrat		SSO	6	⊙		17.7	9h
						17.1	30m
…rstrat		S	4	⊙		17.0	10h
						17.5	30m
Strat u. Cir		S	3	thlw. ⊙		16.2	11h
…o Cum		S	2.5	keine ⊙		16.0	12h
						17.77	

Tabel[…]

24stündige Beobachtungsreihe vom 13. zum 14. Septem[…]

Stunde der Beobachtung	Lufttemperatur in °C.		Dunstdruck in Par. Lin.		Relativer Feuchtigkeitsgrad in %		Barometerstand auf 0° u. Normalbarom. reducirt	
	Neukirch	Valtenberg	Neukirch	Valtenberg	Neukirch	Valtenberg	Neukirch	Valtenberg
							'''	'''
6^{h}	12.32	9.16	3.30	2.94	70	77	326.94	316.05
7^{h}	11.96	8.95	3.29	3.15	72	84	326.98	316.10
8^{h}	10.48	9.01	3.48	3.12	83.5	83	327.10	316.17
9^{h}	9.70	8.58	3.43	3.04	87	83	327.15	316.16
10^{h}	9.37	8.68	3.43	3.03	84	82.5	327.17	316.34
30^{m}	9.00	8.56	3.31	3.00	87.5	82.5	327.18	316.31
11^{h}	7.50	8.43	3.16	2.91	93	81	327.20	316.30
30^{m}	7.62	8.43	3.14	2.92	91	81	327.24	316.33
12^{h}	7.09	8.40	3.11	2.91	94	81	327.31	316.35
30^{m}	7.15	8.16	3.06	2.90	92	82	327.35	316.42
1^{h}	6.50	8.35	3.00	2.72	94	76	327.27	316.30
30^{m}	7.38	8.54	3.02	2.56	89	70.5	327.24	316.28
2^{h}	6.40	8.15	2.95	2.60	93	73	327.23	316.31
30^{m}	6.23	8.15	2.86	2.55	91	72.5	327.21	316.26
3^{h}	5.28	8.13	2.73	2.60	93	74	327.19	316.19
30^{m}	4.50	8.01	2.54	2.58	92	74	327.11	316.27
4^{h}	4.18	8.19	2.52	2.41	93	71	327.11	316.15
30^{m}	3.90	8.08	2.51	2.50	94	72	327.11	316.19
5^{h}	4.18	7.90	2.53	2.49	93	72	327.14	316.25
30^{m}	3.46	8.01	2.43	2.45	94	70	327.24	316.26
6^{h}	3.47	7.98	2.45	2.41	95	69	327.22	316.26
30^{m}	6.03	8.30	2.65	2.36	86	66.5	327.25	316.26
7^{h}	10.02	8.84	3.06	2.41	76	65	327.22	316.29
30^{m}	11.72	9.06	3.33	2.42	74	65	327.20	316.30
8^{h}	13.10	9.56	3.67	2.54	75	65	327.17	316.27
30^{m}	14.08	10.00	3.64	2.53	69	63	327.15	316.27
9^{h}	14.39	10.16	3.73	2.58	70	63.5	327.18	316.34
30^{m}	16.40	10.54	3.23	2.82	52.5	68.5	327.19	316.39
10^{h}	15.30	10.44	2.99	2.72	54.5	66.5	327.18	316.36
30^{m}	16.17	11.65	3.07	3.17	51	71	327.24	316.29
11^{h}	15.51	11.74	3.10	2.56	54	57	327.15	316.22
12^{h}	15.18	11.91	3.09	2.67	55	59	327.10	316.18
1^{h}	14.56	11.85	2.96	2.96	55	65.5	326.99	316.10
30^{m}	14.91	12.17	3.00	2.90	55.5	63	326.84	315.95
2^{h}	14.93	12.79	2.90	3.08	51.5	64	326.79	315.84
30^{m}	14.68	13.96	3.03	3.40	55.5	64	326.58	315.73
3^{h}	14.82	13.63	3.11	3.67	56	70	326.51	315.75
30^{m}	14.88	13.58	3.04	3.05	55	59.5	326.43	315.73
4^{h}	14.60	12.69	3.01	3.09	55.5	64.5	326.48	315.65
30^{m}	14.44	12.56	3.48	3.16	65	66.5	326.45	315.67
5^{h}	13.78	12.58	3.60	3.08	70	65	326.30	315.66
30^{m}	13.82	12.66	3.61	3.11	70.5	65	326.31	315.65
6^{h}	12.89	11.93	3.71	2.79	75.5	62	326.27	315.56
Mittel	10.72	9.96	3.14	2.83	75.8	70.4	327.023	316.136

…4 am Valtenberg bei Bischofswerda in Sachsen.

…renz der …ess. …öhe	Bewölkung, Grad und Art	Wolkenzug, Richtung und Geschwindigkeit	Wind Richtung	Wind Stärke Mittel. Klgm.	Wind Stärke Max. □Met.	Bemerkungen	Stunde der Beobachtung
2.3	8 Cum		SSW	2.5	6		6^h
1.0	8 Cum		SSW	2.5	6		7^h
2.4			SSW	2			8^h
5.2	Bewölkt durch Cirrostratusnebel	nicht beobachtbar	SSW	1.5			9^h
8.2							10^h
5.4							30^m
6.3							11^h
5.0			SSW	sehr schw.			30^m
2.3							12^h
3.0							30^m
2.3							1^h
1.3							30^m
7.0							2^h
4.4							30^m
2.4	Aufhellen		SW	sehr schw.			3^h
16.7	Sternhimmel						30^m
7.1							4^h
11.3							30^m
13.4	1 Cum, Str.		SW	1	2	Viel Thalrauch; auch bei Station Neukirch. Starker fast reifähnlicher Thau im Thale, mittler Thau auf dem Berg. Thalrauch fast ganz verschwunden.	5^h
6.8							30^m
8.6	1 Cum, Str.		WSW	mittel			6^h
1.6							30^m
0.2	1 Cum, Str.		W	sehr schw.			7^h
1.0							30^m
4.1	0–1 Str.		windstill				8^h
5.1							30^m
2.9	0–1 Str.		windstill				9^h
+ 2.9							30^m
2.8	7 Cum	W 1	windstill				10^h
+16.2							30^m
+13.8	5 Cum		O	sehr schw.			11^h
+13.4	4 Cum		NO	1			12^h
+ 9.8	3–4 Cum		NO	mittel			1^h
+11.5							30^m
+17.2	5 Cum		SO	sehr schw.			2^h
+11.1							30^m
+ 4.3	6 Cum	W 1	O	schwach			3^h
− 1.4							30^m
+ 7.6	6 Cum		SO	schwach			4^h
+ 3.9							30^m
− 8.4	5–6 Cum		SO	mittel			5^h
− 7.0							30^m
− 4.9	1 Cum, Str.		SO		$-2\frac{1}{2}$		6^h
+ 0.7							

Tab

24*stündige Beobachtungsreihe vom* 9. *zum* 10. *Septem*

Stunde der Beobachtung	Lufttemperatur in °C.		Dunstdruck in Par. Lin.		Relativer Feuchtigkeitsgrad in %		Barometerstand auf 0° u. Normalbarom. reducirt	
	Neukirch	Valtenberg	Neukirch	Valtenberg	Neukirch	Valtenberg	Neukirch	Valtenberg
							'''	'''
6^h	18.71	16.90	5.83	5.14	81	82	326.84	316.13
7^h	18.43	16.50	5.70	5.18	81	84	326.82	316.16
8^h	18.31	16.16	5.58	5.02	80.5	83	326.98	316.27
9^h	18.03	15.79	5.53	4.88	81	83	327.08	316.32
10^h	17.80	15.85	5.41	4.69	81	78	327.04	316.32
30^m	17.67	15.75	5.38	4.70	81	79	327.09	316.31
11^h	17.63	15.55	5.01	4.66	76	80	327.15	316.38
30^m	17.71	15.32	5.05	4.67	76	81	327.13	316.38
12^h	17.49	15.08	4.92	4.56	74	80	327.03	316.32
30^m	17.26	14.94	4.65	4.50	72.5	80	327.01	316.30
1^h	17.30	14.80	4.87	4.42	75	80	327.01	316.28
30^m	16.97	14.70	4.92	4.38	77.5	79.5	326.95	316.26
2^h	16.58	14.79	4.78	4.67	77	79	326.94	316.25
30^m	16.63	14.62	4.79	4.40	77	80	326.88	316.17
3^h	16.75	14.62	4.85	4.40	77.5	80	326.85	316.07
30^m	16.95	14.70	4.95	4.45	78	80	326.81	316.03
4^h	17.12	14.78	4.97	4.55	77.5	81	326.83	316.02
30^m	16.74	14.84	5.01	4.58	80	83	326.84	316.03
5^h	17.19	14.84	4.93	4.63	77	83	326.84	316.06
30^m	17.11	14.75	5.09	4.55	79	83	326.81	316.06
6^h	16.72	14.63	5.04	4.70	80	86	326.83	316.08
30^m	17.85	14.82	5.29	4.77	79	86	326.90	316.14
7^h	18.73	14.96	5.67	4.80	80	86	327.00	316.20
30^m	18.69	15.25	5.43	4.88	76	85.5	326.99	316.26
8^h	19.01	15.63	5.63	5.02	78.5	86.5	327.03	316.26
30^m	19.52	15.79	5.86	5.10	78	86	327.11	316.29
9^h	19.41	16.26	5.76	5.19	77.5	85	327.10	316.32
30^m	20.00	16.59	6.19	5.15	81	83	327.10	316.32
10^h	21.21	17.28	6.10	5.24	73.5	81	327.06	316.35
30^m	20.20	17.72	5.88	5.27	75	79	327.02	316.34
11^h	21.69	18.15	6.43	5.26	75	77	326.99	316.30
12^h	21.72	18.58	6.35	5.97	74	71	326.90	316.25
1^h	21.78	20.77	6.21	5.46	72	68	326.80	316.14
30^m	21.40	19.80	6.01	4.99	71.5	66.0	326.82	316.13
2^h	21.10	20.98	5.83	4.88	71	60.5	326.72	316.04
30^m	21.21	20.94	5.57	4.74	67	51	326.70	316.05
3^h	21.30	21.16	5.66	4.65	68	57	326.66	315.94
30^m	21.18	21.14	5.30	4.76	64	58	326.50	315.93
4^h	20.98	20.74	5.43	5.59	66	58	326.47	315.88
30^m	21.02	20.46	5.52	4.89	67	62	326.41	315.85
5^h	20.74	19.84	5.43	5.26	67.5	69	326.25	315.81
30^m	20.82	20.06	5.47	5.19	68	67	326.25	315.76
6^h	19.73	18.86	5.60	5.31	73	74	326.21	315.75
Mittel	19.01	16.91	5.49	4.89	75.6	76.9	326.87	316.17

n Valtenberge bei Bischofswerda in Sachsen.

Bewölkung, Grad und Art	Wolkenzug, Richtung und Geschwindigkeit	Wind Richtung	Wind Stärke Mittel.	Wind Stärke Max.	Sonnenschein	Bemerkungen	Stunde der Beobachtung
10 Cum	W 1–2	WSW	4	9½	kein ⊙		6h
10 Cum					kein ⊙		7h
							8h
Bewölkt		Starker Wind					9h
							10h
							30m
							11h
							30m
							12h
In S und SO Sternhimmel					In S. u. SO. Sternhimmel		30m
							1h
							30m
							2h
							30m
Bewölkt							3h
							30m
							4h
							30m
9–10 Cum					thlw. ⊙	Neukirch wenig Thau. Thalrauch aber nicht an der unteren Station.	5h
							30m
4 Cum		SW	4	8	kein ⊙		6h
							30m
2–3 Cum	W 2–3	SW	3.5	6	kein ⊙		7h
							30m
9–10 Cum		SW	3	6	kein ⊙		8h
							30m
9–10 Cum		SW	1½	3	kein ⊙		9h
							30m
6 Cum	Unt. Cum S3 oben Cum W2	SW	1½	3	thlw. ⊙	Feiner Nebelschleier am Berge.	10h
							30m
6 Cum		SW	1½	3	⊙		11h
6 Cum	W 1–2	WSW	1½	3½	⊙		12h
6 Cum		WSW	1½	2½	⊙		1h
	W 1–2						30m
2–3 Cum		W	1	2½	⊙		2h
							30m
1–2 Cum		NW	schwach		⊙		3h
							30m
2–3 Cum		?	windstill		⊙		4h
							30m
0–1 Cum		?	winsdtill		⊙		5h
							30m
0–1 Cir		?	sehr schw.		⊙		6h

24stündige Beobachtungsreihe vom 21. *zum* **22. Sept**

Stunde der Beobachtung	Lufttemperatur in °C.		Dunstdruck in Par. Lin.		Relativer Feuchtigkeitsgrad in %		Barometerstand auf 0° u. Normalbarom. reducirt	
	Neukirch	Valtenberg	Neukirch	Valtenberg	Neukirch	Valtenberg	Neukirch	Valtenberg
							'''	'''
6^h	13.90	12.51	3.82	3.11	73	66	326.78	315.83
7^h	13.38	11.65	3.77	3.20	74.5	71	326.76	315.86
8^h	12.60	11.61	3.47	3.04	72	68	326.82	315.91
9^h	11.81	11.35	3.46	3.10	76	70.5	326.83	315.94
10^h	12.18	11.13	3.46	3.05	74	70.5	326.91	315.93
30^m	11.01	10.86	3.35	3.07	78	72	326.92	315.96
11^h	11.34	11.00	3.26	3.03	71	70.5	326.93	315.99
30^m	11.69	11.05	3.48	3.00	77	70	326.96	315.98
12^h	11.65	10.72	3.47	3.07	77	73	327.10	316.00
30^m	11.65	10.66	3.46	3.10	77	74	327.05	316.04
1^h	11.32	10.38	3.48	2.99	78.5	72	327.04	315.98
30^m	10.91	10.63	3.41	3.14	79.5	75	326.98	315.95
2^h	11.62	9.86	3.47	3.23	77	80.5	326.96	315.93
30^m	12.11	9.66	3.64	3.64	78.5	92	326.93	315.93
3^h	11.38	9.71	3.56	3.61	80	91	326.95	315.90
30^m	11.27	9.54	3.66	3.77	83	96.5	326.96	315.88
4^h	11.89	9.56	3.80	3.81	82.5	97	326.94	315.88
30^m	11.49	9.54	3.65	3.79	81.5	97	326.92	315.91
5^h	10.71	9.49	3.80	3.77	83.5	97	326.93	315.97
30^m	10.28	9.59	3.51	3.80	85.5	97	326.98	316.02
6^h	11.23	9.78	3.72	3.79	84.5	95	327.14	316.03
30^m	12.63	9.98	3.94	3.80	82	94	327.10	316.01
7^h	13.22	10.22	4.05	3.80	81	92	327.05	315.99
30^m	13.80	10.48	4.12	3.80	79.5	91	327.03	315.98
8^h	14.32	10.65	4.21	3.88	78.5	92	327.04	315.97
30^m	15.73	11.28	4.42	3.95	75	89.5	327.00	315.96
9^h	16.52	12.21	4.54	3.94	74	84.5	326.94	315.95
30^m	17.28	12.45	4.81	4.00	74	84.5	326.96	315.96
10^h	17.91	13.02	4.85	3.96	71.5	80.5	326.92	315.95
30^m	16.49	13.71	4.38	3.20	71.5	81	326.71	315.85
11^h	17.11	14.10	4.29	4.30	67.5	81.5	326.65	315.81
12^h	17.52	15.60	4.38	4.52	66.5	77.5	326.60	315.75
1^h	19.40	17.29	4.97	4.53	67	70.5	326.42	315.65
30^m	19.30	18.37	4.94	4.25	67.5	62	326.23	315.59
2^h	20.12	17.69	4.89	4.46	63	68	326.18	315.51
30^m	20.32	18.86	4.89	4.67	63	63	326.20	315.45
3^h	20.29	18.83	4.96	4.47	63.5	63	326.04	315.39
30^m	20.00	18.22	4.69	4.65	61	68	326.00	315.34
4^h	19.70	17.79	4.76	4.50	63	68	326.04	315.28
30^m	18.92	17.19	4.50	4.39	63.5	69	326.04	315.32
5^h	18.18	16.75	4.64	4.58	67.5	74	326.05	315.33
30^m	17.79	16.02	4.74	4.85	71	81	326.06	315.32
6^h	16.88	15.40	4.76	4.89	75.5	84.5	326.07	315.37
Mittel	14.70	12.80	4.05	3.79	74.2	79.4	326.73	315.82

am Valtenberg bei Bischofswerda in Sachsen.

nz r s.	Bewölkung, Grad und Art	Wolkenzug, Richtung und Geschwindigkeit	Wind Richtung	Wind Stärke Mittel. Klgm.	Wind Stärke Max. □Met.	Sonnenschein	Bemerkungen	Stunde der Beobachtung
4	2 Cum.	SW 2	S	3	4	kein ⊙	Wenig Thau.	6h
0	0–1 Cum.		S	3.5	4.5			7h
0								8h
8	Wolkenlose Nacht.		S	4	6		Sternhimmel und Mondschein.	9h
0								10h
9								30m
9								11h
8								30m
5			S	4.5	7			12h
3								30m
4								1h
0								30m
8								2h
.2								30m
.2			S	4	5.5			3h
.3								30m
.2								4h
.3	1 Cirr.							30m
.3						⊙ thlw.	An beiden Stationen starker Thau.	5h
.3								30m
.7	3 Cirr.		S	3	4.5	⊙		6h
.9								30m
.9	5 Cirr.		S	3	4	⊙		7h
.6								30m
.5	4–5 Cirr., Cirrstr.		S	2	3.5	⊙		8h
.5								30m
.1	1–2 Cum., Cirr.		S	2	3.5	⊙		9h
.4								30m
.1	2 Cum.		S	2	3.5	⊙		10h
.2								11h
.9	3 Cum.	W 3–2	S	1.5	3	⊙		30m
.8	4 Cum.					thlw.		12h
.9	2–3 Cum., Cirr.		S	2	4	⊙		1h
9.9								30m
3.2	2 Cum.		S	2	4	⊙		2h
1.5								30m
3.4	4–5 Cum., Cirr.		S	1.5	3.5	⊙		3h
3.2								30m
0.0	6 Cirrstrat., Cum		S	1	3	⊙		4h
4.7								30m
2.5	6 Cirrstrat.	W 3–2	S	1.	2.5	⊙		5h
3.4								30m
7.4	3 Cirrstrat.		S	0.5	–	thlw.		6h
4.9								

Tabelle

Mittel aus den 6 *Beobachtungsjahren* 1860—1866

Winter		Lufttemperatur °C.		Barometerstand auf 0°		Höhe	
		Genf	Bernhd.	Genf	Bernhd.	barom. gerechn.	Diff. von gemess. H.
December.	12^h Mittag	+1.95	−6.9	727.53	561.16	2063.8	− 6.2
	2^h	+2.4	−6.9	727.08	560.92	2066.2	− 3.8
	4^h	+1.9	−7.8	727.20	561.04	2060.5	− 9.5
	6^h	+1.1	−8.3	727.43	561.12	2056.7	−13.3
	8^h	+0.7	−8.5	727.72	561.34	2054.8	−15.2
	10^h	+0.3	−8.5	727.85	561.39	2053.5	−16.5
	12^h	+0.1	−8.55	727.70	561.27	2052.7	−17.3
	2^h	−0.1	−8.6	727.48	561.01	2053.0	−17.0
	4^h	−0.3	−8.6	727.34	560.83	2053.1	−16.9
	6^h	−0.5	−8.7	727.52	560.93	2052.7	−17.3
	8^h	−0.4	−8.5	727.74	561.16	2053.2	−16.8
	10^h	+0.75	−7.75	728.06	561.43	2060.1	− 9.9
Mittel		+0.65	−8.13	727.55	561.13	2056.7	−13.3
Januar.	12^h Mittag	+2.1	−6.5	727.33	560.91	2069.2	−0.8
	2^h	+2.65	−6.4	726.85	560.76	2068.5	−1.5
	4^h	+2.2	−7.6	726.91	560.88	2059.2	−10.8
	6^h	+1.15	−8.2	727.15	561.00	2055.8	−14.2
	8^h	+0.55	−8.3	727.39	561.15	2053.5	−16.5
	10^h	+0.1	−8.35	727.49	561.21	2051.8	−18.2
	12^h	−0.3	−8.5	727.34	561.08	2050.1	−19.9
	2^h	−0.5	−8.6	727.10	560.78	2050.3	−19.7
	4^h	−0.6	−8.6	726.96	560.55	2051.5	−18.5
	6^h	−0.8	−8.7	727.15	560.66	2051.1	−18.9
	8^h	−0.7	−8.4	727.42	560.93	2051.6	−18.4
	10^h	+0.6	−7.6	727.65	561.20	2058.5	−11.5
Mittel		+0.50	−7.97	727.24	560.93	2056.0	−14.0
Februar.	12^h Mittag	+2.9	−6 .7	727.41	560.42	2079.7	+ 9.7
	2^h	+3.8	−7 .0	726.77	560.20	2077.7	+ 7.7
	4^h	+3.6	−8 .1	726.68	560.28	2070.7	+ 0.7
	6^h	+2.3	−9 .5	726.98	560.49	2060.5	− 9.5
	8^h	+1.3	−9 .8	727.23	560.62	2056.6	−13.4
	10^h	+0.4	−10.0	727.43	560.70	2052.9	−17.1
	12^h	−0.3	−10.0	727.35	560.49	2042.8	−27.2
	2^h	−0.7	−10.1	727.17	560.20	2040.7	−29.3
	4^h	−1.2	−10.5	727.10	560.03	2039.9	−30.1
	6^h	−1.4	−10.25	727.30	560.14	2040.8	−29.2
	8^h	−1.05	− 9.7	727.61	560.36	2045.4	−20.6
	10^h	+1.1	− 8.0	727.70	560.48	2069.9	− 0.1
Mittel		+0.91	− 9.12	727.23	560.37	2061.2	− 8.8

V.

der Stationen Genf und St. Bernhard (2070^{met}).

Frühling		Lufttemperatur °C.		Barometerstand auf 0°		Höhe	
		Genf	Bernhd.	Genf	Bernhd.	barom. gerechn.	Diff. von gemess. H.
März	12h Mittag	+ 6.8	−5.4	723.26	558.08	2087.8	+17.8
	2h	+ 7.7	−5.4	722.71	557.93	2087.2	+17.2
	4h	+ 7.6	−6.5	722.48	557.94	2080.0	+10.0
	6h	+ 6.3	−8.05	722.72	558.13	2069.1	− 0.9
	8h	+ 5.1	−8.55	723.14	558.35	2064.0	− 6.0
	10h	+ 4.1	−8.8	723.29	558.38	2061.8	− 8.2
	12h	+ 3.3	−8.9	723.21	558.19	2058.9	−11.1
	2h	+ 2.5	−9.3	723.01	557.88	2056.8	−13.2
	4h	+ 1.8	−9.5	722.96	557.67	2055.4	−14.6
	6h	+ 1.9	−9.3	723.15	557.71	2058.4	−11.6
	8h	+ 3.1	−7.9	723.45	557.88	2069.2	− 0.8
	10h	+ 5.4	−6.35	723.53	558.09	2082.0	+12.0
Mittel		+ 4.63	−7.82	723.08	558.02	2069.2	− 0.8
April	12h Mittag	+12.7	+0.3	726.74	563.59	2092.0	+22.0
	2h	+13.8	+0.65	726.22	563.55	2092.3	+22.3
	4h	+13.95	−0.3	725.87	563.52	2087.9	+17.9
	6h	+12.7	−2.05	725.99	563.61	2074.3	+ 4.3
	8h	+10.6	−3.25	726.58	563.86	2065.0	− 5.0
	10h	+ 9.1	−3.6	726.86	563.95	2060.0	−10.0
	12h	+ 7.9	−4.0	726.91	563.74	2056.6	−13.4
	2h	+ 6.3	−4.8	726.79	563.36	2052.7	−17.3
	4h	+ 5.1	−5.4	726.81	563.09	2050.2	−19.8
	6h	+ 5.7	−4.8	727.03	563.13	2056.2	−13.8
	8h	+ 8.7	−2.7	727.23	563.32	2075.0	+ 5.1
	10h	+11.1	−0.95	727.23	563.55	2087.4	+17.4
Mittel		+ 9.82	−2.56	726.695	563.52	2070.9	+ 0.9
Mai	12h Mittag	+17.7	+4.1	726.06	565.43	2091.4	+21.4
	2h	+18.6	+4.4	725.57	565.37	2091.3	+21.3
	4h	+18.45	+3.75	725.25	565.35	2085.2	+15.2
	6h	+17.0	+2.4	725.33	565.36	2075.3	+ 5.3
	8h	+14.9	+1.05	725.86	565.52	2066.7	− 3.3
	10h	+13.4	+0.7	726.28	565.70	2063.3	− 6.7
	12h	+12.2	+0.25	726.42	565.58	2059.2	−10.8
	2h	+10.75	−0.4	726.35	565.28	2055.0	−15.0
	4h	+ 9.9	−0.8	726.37	565.02	2054.3	−15.7
	6h	+10.9	−0.3	726.57	565.04	2061.9	− 8.1
	8h	+14.0	+1.4	726.68	565.28	2077.7	+ 7.7
	10h	+16.1	+3.0	726.49	565.37	2087.6	+17.6
Mittel		+14.50	+1.63	726.10	565.355	2072.4	+ 2.4

Tabelle

Mittel aus den 6 *Beobachtungsjahren* 1860—1866

Sommer		Lufttemperatur °C.		Barometerstand auf 0°		Höhe	
		Genf	Bernhd.	Genf	Bernhd.	barom. gerech.	Diff. von gemess. H.
Juni.	12h Mittag	+19.4	+6.1	727.07	566.85	2096.8	+26.8
	2h	+20.3	+6.3	726.73	566.84	2097.1	+27.1
	4h	+20.3	+5.9	726.43	566.84	2092.3	+22.3
	6h	+19.1	+4.7	726.42	566.87	2082.6	+12.6
	8h	+17.0	+3.5	726.79	566.99	2073.1	− 3.1
	10h	+15.4	+3.1	727.31	567.18	2069.0	− 1.0
	12h	+14.2	+2.6	727.43	567.08	2065.4	− 4.6
	2h	+13.0	+1.8	727.30	566.77	2061.1	− 8.9
	4h	+12.6	+1.4	727.22	566.53	2060.9	− 9.1
	6h	+13.8	+2.0	727.32	566.55	2068.2	− 1.8
	8h	+16.4	+3.4	727.48	566.70	2082.6	+12.6
	10h	+18.1	+5.1	727.33	566.77	2092.8	+22.8
Mittel		+16.64	+3.82	727.07	566.83	2078.5	+ 8.5
Juli.	12h Mittag	+22.1	+8.8	727.66	568.52	2099.9	+29.9
	2h	+23.0	+9.0	727.27	568.53	2099.1	+29.1
	4h	+22.9	+8.5	727.00	568.53	2093.7	+23.7
	6h	+21.8	+7.3	726.94	568.57	2084.2	+14.2
	8h	+19.5	+6.1	727.36	568.73	2074.0	+ 4.0
	10h	+17.5	+5.7	727.82	568.89	2068.3	− 1.7
	12h	+16.0	+5.1	727.97	568.77	2064.0	− 6.0
	2h	+14.5	+4.3	727.87	568.42	2059.3	−10.7
	4h	+13.8	+3.8	727.85	568.14	2059.2	−10.8
	6h	+15.0	+4.4	727.98	568.14	2067.0	− 3.0
	8h	+18.4	+5.9	728.13	568.34	2083.7	+13.7
	10h	+20.4	+7.9	727.97	568.45	2094.8	+24.8
Mittel		18.75	+6.39	727.655	568.50	2079.0	+ 9.0
August.	12h Mittag	+21.5	+8.7	727.78	568.76	2095.3	+25.3
	2h	+22.7	+9.0	727.36	568.74	2096.2	+26.2
	4h	+22.6	+8.3	727.04	568.71	2089.7	+19.7
	6h	+21.1	+7.2	727.00	568.75	2079.1	+ 9.1
	8h	+18.6	+6.2	727.54	568.98	2068.8	− 1.2
	10h	+16.9	+5.8	727.90	569.03	2065.4	− 4.6
	12h	+15.6	+5.4	727.98	568.87	2062.2	− 7.8
	2h	+14.1	+4.8	727.85	568.55	2057.7	−12.3
	4h	+13.2	+4.3	727.78	568.36	2054.7	−15.3
	6h	+14.1	+4.9	727.97	568.41	2061.6	− 8.4
	8h	+17.4	+6.3	728.17	568.61	2078.4	+ 8.4
	10h	+19.7	+7.9	728.17	568.75	2090.4	+20.4
Mittel		+18.13	+6.56	727.71	568.71	2075.0	+ 5.0

VI.

der Stationen Genf und St. Bernhard (2070[met]). (Fortsetzung.)

Herbst		Lufttemperatur °C.		Barometerstand auf 0°		Höhe	
		Genf	Bernhd.	Genf	Bernhd.	barom. gerechn.	Diff. von gemess. H.
September.	12^h Mittag	+17.7	+5.8	728.45	568.12	2087.0	+17.0
	2^h	+18.7	+5.9	727.97	568.02	2087.1	+17.1
	4^h	+18.5	+5.3	727.71	568.03	2080.7	+10.7
	6^h	+16.9	+4.1	727.80	568.11	2070.5	+ 0.5
	8^h	+14.9	+3.5	728.38	568.34	2064.1	− 5.9
	10^h	+13.5	+3.1	728.57	568.40	2059.0	−11.0
	12^h	+12.6	+2.9	728.52	568.22	2056.9	−13.1
	2^h	+11.5	+2.3	728.31	567.93	2052.3	−17.7
	4^h	+10.5	+2.0	728.31	567.69	2051.3	−18.7
	6^h	+10.8	+2.3	728.55	567.69	2056.2	−13.8
	8^h	+13.6	+3.8	728.81	568.01	2070.1	+ 0.1
	10^h	+16.2	+4.8	728.84	568.19	2081.2	+11.2
Mittel		+14.62	+3.82	728.35	568.065	0·890z	− 2.0
Oktober.	12^h Mittag	+13.1	+1.7	726.68	565.33	2074.0	+ 4.0
	2^h	+13.9	+1.9	726.15	565.13	2074.6	+ 4.6
	4^h	+13.4	+1.2	725.99	565.14	2068.5	− 1.5
	6^h	+11.9	+0.2	726.33	565.27	2061.2	− 8.8
	8^h	+10.6	−0.1	726.67	565.42	2056.8	−13.2
	10^h	+ 9.7	−0.3	726.86	565.47	2054.1	−15.9
	12^h	+ 9.0	−0.4	726.68	565.29	2051.9	−18.1
	2^h	+ 8.4	−0.8	726.41	565.00	2049.4	−20.6
	4^h	+ 7.8	−1.2	726.38	564.82	2047.9	−22.1
	6^h	+ 8.1	−1.0	726.69	564.92	2051.8	−18.2
	8^h	+ 9.3	−0.2	727.10	565.27	2058.7	−11.3
	10^h	+11.6	+0.9	727.13	565.45	2069.0	− 1.0
Mittel		+10.56	+0.17	726.59	565.21	2059.8	−10.2
November	12^h Mittag	+ 6.8	−2.9	725.62	561.63	2073.1	+ 3.1
	2^h	+ 7.2	−3.2	725.23	561.46	2071.7	+ 1.7
	4^h	+ 6.5	−4.2	725.27	561.56	2063.9	− 6.1
	6^h	+ 5.7	−4.8	725.55	561.78	2058.7	−11.3
	8^h	+ 5.1	−5.0	725.77	561.92	2056.5	−13.5
	10^h	+ 4.9	−5.2	725.86	561.95	2054.9	−15.1
	12^h	+ 4.5	−5.3	725.70	561.76	2054.6	−15.4
	2^h	+ 4.2	−5.3	725.44	561.43	2054.9	−15.1
	4^h	+ 3.9	−5.3	725.30	561.25	2055.0	−15.0
	6^h	+ 3.9	−5.4	725.50	561.36	2055.3	−14.7
	8^h	+ 4.2	−5.1	725.87	561.66	2057.5	−12.5
	10^h	+ 5.6	−4.0	726.05	561.83	2066.6	− 3.4
Mittel		+ 5.20	−4.64	725.60	561.635	2060.6	− 9.7

II. Die aus Tages- und Monatsmitteln der meteorologischen Beobachtungen gerechneten Höhen zeigen eine jährliche Periode. Dieselben sind im Winter zu klein und im Sommer zu gross. Die Amplitude der jährlichen Periode ist jedoch geringer als die der täglichen.

Auch diese Thatsache, so überraschend dieselbe scheinen mag, ist nicht ganz neu. Nachdem ich mich von ihrem Dasein auf unzweifelhafte Weise überzeugt hatte, fand ich bei weiterem Eindringen in die Geschichte und Literatur der barometrischen Höhenmessungen, dass schon Ramond, dann d'Aubuisson, Galle, Kämtz und auch Plantamour Daten gegeben hatten, aus denen man ebenfalls das gleiche Resultat hätte ableiten können. Da man jedoch gewöhnlich nur wenig Beobachtungsmaterial zur Verfügung hatte, so hielt man die Abweichungen nur für zufällige und verkannte ihre Regelmässigkeit. Ausgesprochen hat keiner dieser Autoren diesen Satz, obgleich er eigentlich als Analogon zur täglichen Periode, meiner Ansicht nach, ziemlich nahe lag, wahrscheinlich weil ihnen nach ihren Anschauungen kein vernünftiger Grund für die Existenz einer solchen Periode zu bestehen schien. Soweit die 6jährigen Beobachtungen in Genf und am St. Bernhard, welche mir zur Verfügung standen, dienen können, um den Verlauf der Erscheinungen zu beurtheilen, scheint es, als ob das Minimum der jährlichen Periode nahezu auf den Anfang des Jahres fiele, und dann ein langsames Ansteigen bis zum Maximum Ende Juli folgte. Der Abfall der Curve im September und Oktober ist rascher, so dass das Winterminimum, ähnlich wie das Sommermaximum, eine längere Dauer zu haben scheint.

Es finden natürlich ziemlich bedeutende Abweichungen von diesem Hauptcharakter je nach dem Verlauf der Jahreszeiten in den einzelnen Jahren statt, so dass zur endgültigen Feststellung der jährlichen Periode, zur Ausgleichung aller abnormen Zufälligkeiten wahrscheinlich ziemlich lange Reihen von Jahren gehören würden.

Wie man aus den nachfolgenden Beobachtungszahlen

und der graphischen Darstellung derselben (auf Tafel IV) ersehen kann, ist die jährliche Periode jedoch durchaus nicht so gering, dass man dieselbe vernachlässigen dürfte oder sie sich leicht der Wahrnehmung entzöge.

Tabelle VII.

Monatsmittel aus den 6jährigen Beobachtungen
in Genf und am St. Bernhard von 1860—1865. Höhendifferenz =2070met.

	Temperatur Genf °C.	Temperatur Bernhard °C.	Barometerstand Genf mm	Barometerstand Bernhard mm	Dunstdruck Genf mm	Dunstdruck Bernhd*) mm	Höhendifferenz met	Wahre Lufttemperatur
December	+ 0.65	−8.13	727.55	561.13	4.28	1.95	−13.3	− 2.0
Januar	+ 0.50	−7.97	727.24	560.93	4.05	1.50	−14.0	− 1.9
Februar	+ 0.91	−9.12	727.23	560.37	4.16	1.78	− 8.8	− 3.0
März	+ 4.63	−7.82	723.08	558.02	4.83	2.46	− 0.8	− 1.5
April	+ 9.82	−2.56	726.69	563.52	6.17	2.89	+ 0.9	+ 3.5
Mai	+14.50	+1.63	726.10	565.35	8.37	3.79	+ 2.4	+ 7.75
Juni	+16.64	+3.82	727.07	566.83	9.62	4.17	+ 8.5	+ 9.1
Juli	+18.75	+6.39	727.66	568.50	10.61	5.26	+ 9.0	+11.3
August	+18.13	+6.56	727.71	568.71	10.43	5.43	+ 5.0	+11.6
September	+14.62	+3.82	728.35	568.06	9.66	4.71	− 2.0	+ 9.5
Oktober	+10.56	+0.17	726.59	565.21	7.92	3.88	−10.2	+ 6.6
November	+ 5.20	−4.64	725.60	561.64	5.65	2.73	− 9.7	+ 1.6
Mittel	+ 9.57	−1.47	726.74	564.02	7.14	3.38	−2.8	+ 4.29

Ueber die Veränderungen der jährlichen Periode durch besondere Verhältnisse, sowohl lokaler als temporärer Art, wird ungefähr das Nämliche gelten, was schon über die tägliche Periode gesagt worden ist, da beide in denselben Ursachen ihren Grund haben.

Der Charakter der täglichen Periode ist in den einzelnen Monaten, den sehr verschiedenen Umständen der Jahreszeiten entsprechend, ein sehr verschiedener.

Die Sommermonate zeigen sehr grosse Ausdehnung der täglichen Periode, mit einer Amplitude bis zu 40met bei einer Höhe von 2070met, während dieselbe in den Herbst- und Win-

*) Die Feuchtigkeit der Luft auf dem St. Bernhard wurde aus den 5 Schweizer Stationen: Simplon, Grimsel, Maria, Platta, Zermatt unter Rücksicht auf deren Höhen bestimmt, da auf dem St. Bernhard kein Psychrometer beobachtet worden war.

termonaten sehr klein wird, im December aber fast verschwindet, so dass in diesem Monat die Amplitude nur noch 13^{met} beträgt.

III. Die Jahresmittel der meteorologischen Beobachtungen geben Höhen, welche von den wahren Werthen sich immer nur sehr wenig entfernen.

Man ersieht daraus, dass nach Ausgleich der zufälligen Störungen und Bewegungen in der Atmosphäre der theoretisch vorausgesetzte Gleichgewichtszustand in den Jahresmitteln ziemlich vollständig eingetreten ist.

Es scheinen also die meteorologischen Elemente, wie dies auch nach ihrer Ursache in der Erwärmung der Erde durch die Sonne zu erwarten ist, einfach jährliche Perioden zu haben. — Aus den 6jährigen Mitteln v. J. 1860 bis 1865 der Beobachtungen in Genf und am St. Bernhard*), welche in Tabelle V und VI (Seite 58—61) bereits mitgetheilt sind und deren graphische Darstellung man auf Tafel II u. III findet, ist der Verlauf der täglichen Periode in den verschiedenen Monaten genauer bestimmt worden.

Da von dem St. Bernhard in den benutzten Jahren keine Psychrometerbeobachtungen verzeichnet sind, so ist, wie erwähnt, die Feuchtigkeit der Luft für diese Station aus den bekannten Feuchtigkeitsverhältnissen der 5 Stationen: Simplon, Grimsel, Maria, Platta, Zermatt unter Berücksichtigung ihrer Höhen bestimmt worden. Da die Feuchtigkeit der Luft in den barometrischen Höhenmessungen eine verhältnissmässig untergeordnete Rolle spielt und ausserdem die tägliche Veränderung derselben nicht sehr gross, und die Genauigkeit, mit welcher dieselbe bestimmt werden kann, sehr gering ist, so habe ich geglaubt, mich mit der Annäherung begnügen zu können, während der ganzen täglichen Periode einen constanten, und zwar den mittleren Feuchtigkeitsgehalt anzunehmen. Man findet die benutzten Werthe in Tabelle VII (S. 63).

---

*) *Resumé météorologique de l'année* 1860, 1861, 1862, 1863, 1864, 1865 *pour Genève et le Grand St. Bernard, par* E. PLANTAMOUR.

Wenn man die Resultate der Tabellen V, VI und VII etwas näher ins Auge fasst, so bemerkt man zunächst, dass das Mittel aller Beobachtungen nahe 3 Meter unter der von PLANTAMOUR sehr zuverlässig zu 2070^{met} bestimmten Höhe zurückbleibt.

Ob dieser Umstand in einer Unrichtigkeit der Constanten der Höhenformel, oder in Differenzen der Barometer, oder in localen Verhältnissen, also verschiedener Anziehung, oder so rascher Veränderung des Druckes mit der geographischen Lage, oder in einer eigenthümlichen Depression der Temperatur an einer oder beiden Stationen seine Ursache hat (wie Letzteres von PLANTAMOUR selbst vermuthet wird) *), will ich unentschieden lassen, da mir die Aufstellung der Instrumente an den Stationen und die Methode der Vergleichung derselben nicht bekannt ist.

Nimmt man aber hierauf keine Rücksicht, so ergiebt sich bei näherer Betrachtung der täglichen Perioden in den verschiedenen Monaten Folgendes: Im December wird selbst zu Mittag, zur Zeit des Maximums die wahre Höhe nicht erreicht. Die Tagescurve bleibt immer unter derselben. Man würde hiernach im Allgemeinen im December also nur zu kleine Höhen finden können. Im Januar berührt zur Zeit des Maximums um 1 Uhr die Tagescurve gerade einmal die wahre Höhe, sonst aber zeigt sie auch fortwährend zu niedrige Werthe. Obgleich das Minimum tiefer liegt als das des Decembers, so ist doch die Amplitude noch sehr klein. Einen merklichen Fortschritt zeigt erst Februar, in welchem sich das Maximum nach 12^h schon um 10^{met} über der wahren Höhe befindet und erst nach 4^h dieselbe wieder erreicht. Nachts aber sinken die Werthe sogar bis unter das Minimum der beiden andern Wintermonate, bis -30^{met}. März erscheint als Uebergangsform und zeichnet sich durch seine geringe Amplitude aus. Das Monatsmittel giebt einen fast absolut richtigen Werth.

Ganz ähnlich verhält sich April, nur zeigt sich hier schon ein stärkeres Maximum und sehr tiefes Minimum, obgleich das Mittel von dem vorigen fast gar nicht verschieden ist.

---

*) *Mesures hypsométriques dans les Alpes exécutées à l'aide du baromètre par* E. PLANTAMOUR, *pag.* 12.

Mai hat schon einen deutlichen Sommercharakter, besitzt aber eine kleinere Amplitude als seine Vorgänger, obgleich sein Mittel schon grösser als der wahre Höhenunterschied ist.

Ihm sehr ähnlich ist der Juni, welcher mit Juli den eigentlichen Sommercharakter bildet. Der bei weitem grösste Theil der Curve liegt über dem wahren Werthe; die Amplitude erreicht im Juli ihren grössten Werth = 42^{met}. Der Rückgang tritt erst im August ein, dessen Mittel nur noch um 5^{met} zu hoch ist.

Im September hat sich die Ausdehnung der Periode bedeutend verringert, und das Mittel ist schon zu niedrig. Der Wintercharakter tritt deutlich im Oktober auf; das Mittel dieses Monates wird durch merkwürdig tiefe Werthe in der Zeit des Minimums sogar unter dasjenige des Novembers herabgedrückt.

Was man an Erfahrungen über den Einfluss des Windes auf barometrische Höhenmessungen aufgestellt hat, ist zunächst jedenfalls mit Vorsicht aufzunehmen, da die hierüber von verschiedenen Beobachtern an verschiedenen Punkten gewonnenen Resultate wenig Uebereinstimmung zeigen, sich nicht selten sogar widersprechen.

Ramond, der zumal in seinen Beobachtungen zwischen Clermont und Paris reiches Material gesammelt hat, glaubt schliessen zu müssen, dass, wenn die atmosphärischen Schichten bei Nord- und Ostwind durch kältere Luft ersetzt werden, man zu grosse Höhen auf barometrischem Wege findet, dass hingegen, wenn wärmere Luft des Aequatorialstromes durch Süd- und Westwinde zwischen beide Stationen geführt würde, die Höhen zu klein ausfielen.

Seine Resultate stimmen gut hiermit überein; so giebt z. B. sein Jahresmittel der oben erwähnten Beobachtungen folgende Zahlen:

Windrichtung:	Berechnete Höhe in Metern:	
Nördlich	363.2	Alle Beobachtungen in Paris und Clermont sind Mittags 12^h angestellt.
Oestlich	351.0	
Westlich	330.9	
Südlich	312.6	

Kämtz hingegen findet, dass die Höhe ziemlich richtig ist, wenn der Wind in der Richtung der Stationen weht; dass hingegen bei hierzu senkrechter Richtung des Windes die Höhen zu gross und zu klein gefunden werden. Sein Resultat ist wenig Vertrauen erweckend, einmal, weil man die Ursache desselben nicht einsehen kann, und dann, weil ihm die Ansicht von Brandes und Schmidt gerade entgegensteht. Diese wollen nämlich bemerkt haben, dass, wenn der Wind von der höheren Station zur niederen flösse, der Höhenunterschied zu klein gefunden würde, weil dann die barometrische Differenz beider Stationen zu klein sei, und dass die Höhe zu gross gefunden werde, wenn der Druck an den unteren Stationen zu gross sei, so dass ein Abströmen der Luft nach der obern Station zu stattfände.

Doch auch für diese Ansicht, welche an sich sehr viel Wahrscheinlichkeit für sich hat, sprechen die wenigen Erfahrungen, welche gesammelt worden sind, noch nicht unzweifelhaft, weil man stets vergessen hat, bei diesen Untersuchungen zuvor die Einflüsse der Jahreszeiten und der Tagesstunden auszuscheiden, und man somit aus der Collision verschiedener Ursachen keine sicheren Schlüsse über deren Resultate machen konnte.

Höchst wahrscheinlich werden beide Umstände, sowohl die Temperatur (nicht die Richtung) des zwischen beiden Stationen wehenden Windes, als auch der Winkel von Einfluss sein, welchen die mit der Richtung des Windes übereinstimmende Richtung der Abnahme des Luftdruckes mit der Verbindungslinie beider Stationen bildet.

Auch die zum grossen Theil richtigen Bemerkungen, welche Ramond über den Einfluss des Terrains macht, z. B. dass isolirte Spitzen besser zur Erlangung richtiger Resultate geeignet sind als abgeschlossene Thäler und Schluchten, oder als Ebenen u. dergl., sind nicht von genügender Allgemeinheit und im Vergleich zu den erwähnten Einflüssen der täglichen und jährlichen Periode von zu geringer Bedeutung. Da dieselben immer auf eine grössere oder geringere Strahlung des Erdbodens hinauslaufen, so finden dieselben von selbst durch spätere aus den Erfahrungen gezogene Schlüsse ihre Erklärung, und fallen unter allgemeinere Gesichtspunkte, so dass man

dieselben hier füglich übergehen kann. Das Gewicht, welches FUCHS [*]) auf die lokalen Attraktionen der Gebirge legt, durch welche die Schwerkraft wesentlich geändert wird, ist nicht unberechtigt, da auch neuerer Zeit HOSSARD und ROSET [**]) durch numerische Beispiele gezeigt haben, dass die Barometermittel merklich durch solche Variationen der Schwere verändert werden können. Um diesem Umstande Rechnung tragen zu können, bedarf es genauer Ermittelungen der Constanten der Schwerkraft, und bekanntlich sind diese bis jetzt nur für verhältnissmässig wenig Orte bestimmt. Auf die Attraktion der unteren Erdschichten, welche zwischen der Station und dem Meereshorizont liegen, haben wir schon annähernd bei Entwickelung der Formel Rücksicht genommen.

IV. Die Perioden der barometrisch gefundenen Höhen, die tägliche sowohl als die jährliche, lassen sich in zwei Theile zerlegen, von denen der eine, und zwar der bei weitem grössere, von der Variation der Temperatur, und der andere, kleinere, von den Variationen der Barometerstände herkommt. Diese beiden Theilperioden haben im Allgemeinen entgegengesetzte Vorzeichen.

Ich bemerkte diese Thatsachen als ich aus den täglichen Mitteln der Temperatur, der Feuchtigkeit und des Druckes meiner 24stündigen Beobachtungsreihen die Höhen gerechnet hatte, und nun untersuchte, ob die Abweichungen der Temperatur und des Druckes von ihren mittleren Werthen in irgend eine Beziehung zu den deutlich vorhandenen Perioden zu bringen wären.

Es zeigte sich damals, dass, wenn man die Differenz $\Delta\tau$ der eingeführten Lufttemperatur $\tau = \frac{t' + t''}{2}$ von der mittleren Lufttemperatur mit einer Grösse multiplicirt, welche man erhält, wenn man die Höhenformel partiell nach der eingeführten Lufttemperatur differenzirt, d. h. den Ausdruck bildet:

---

*) FUCHS, Ueber den Einfluss des Terrains auf die Resultate barometrischer und trigonometrischer Höhenmessungen.

**) HOSSARD und ROSET in: *Comptes Rendus* T. XIV. pag. 180.

$$\frac{\partial h}{\partial \tau} \cdot \varDelta\tau = \frac{h.\alpha}{1+\alpha\tau} \varDelta\tau ,$$

man sehr nahe die tägliche Höhenperiode erhielt.

Wurde in gleicher Weise die Grösse bestimmt:

$$\frac{\partial h}{\partial B} \cdot \varDelta B - \frac{\partial h}{\partial b} \cdot \varDelta b = \frac{h}{\log B - \log b} \left(\frac{\varDelta B}{B} - \frac{\varDelta b}{b} \right)$$

d. h. untersuchte man, welcher Theil der Höhendifferenz von der täglichen Periode des Barometers herkommt, so ergab sich wie zu erwarten, dass beide Grössen zusammen immer die Gesammtabweichung bilden.

Tabelle VIII.

Die Theilperioden der täglichen Periode barometrischer Höhenmessungen.

Die stündlichen Mittel des Monats September 1864 für Genf und St. Bernhard.

Beobachtungsstunde	Lufttemperatur in °C.		Barometerstand auf 0° reducirt		Berechnete Höhe	Differenz von gemess. Höhe	$\frac{\partial h}{\partial \tau} \cdot \varDelta\tau$	$\frac{\partial h}{\partial b} \cdot db$
	Genf	Bernhd.	Genf	Bernhd.				
			mm	mm	met.	met.	met.	met.
12h Mittag	17.6	5.3	729.07	568.19	2090.7	+20.7	+18.9	+1.8
1	18.2	5.4	728.82	568.16	2091.1	+21.1	+21.8	−0.7
2	18.6	5.5	728.55	568.12	2090.4	+20.4	+23.6	−3.2
3	18.4	5.2	728.31	568.10	2086.2	+16.2	+21.8	−5.6
4	18.1	4.9	728.22	568.12	2082.4	+12.4	+19.7	−7.3
5	17.4	4.3	728.20	568.15	2076.9	+ 6.0	+14.6	−7.6
6	16.4	3.7	728.28	568.18	2071.9	+ 1.9	+ 9.1	−7.1
7	15.4	3.7	728.56	568.27	2070.5	+ 0.5	+ 5.5	−5.0
8	14.4	3.1	728.86	568.36	2066.3	− 3.7	− 0.4	−3.2
9	13.5	2.8	728.99	568.39	2062.7	− 7.3	− 5.0	−2.3
10	12.9	2.7	729.08	568.41	2061.1	− 9.1	− 7.6	−1.4
11	12.4	2.6	729.09	568.41	2058.9	−11.1	− 9.6	−1.4
12h Nacht	12.1	2.5	729.02	568.36	2057.4	−12.6	−11.3	−1.3
1	11.7	2.3	728.93	568.28	2055.1	−14.9	−13.7	−1.2
2	11.2	2.0	728.87	568.17	2053.4	−16.6	−16.3	−0.3
3	10.5	1.6	728.87	568.06	2050.9	−19.1	−20.6	+1.4
4	10.1	1.6	728.95	567.99	2050.9	−19.1	−22.5	+3.4
5	10.0	1.7	729.09	567.97	2053.4	−16.6	−21.9	+5.2
6	10.2	2.0	729.25	568.00	2056.4	−13.6	−20.2	+6.6
7	11.4	2.6	729.42	568.09	2053.6	− 6.4	−13.7	+7.2
8	12.9	3.4	729.51	568.18	2072.0	+ 2.0	− 5.0	+7.0
9	14.4	4.1	729.56	568.25	2079.5	+ 9.5	+ 3.2	+6.4
10	16.0	4.8	729.54	568.30	2087.0	+17.0	+11.5	+5.5
11	17.0	5.1	729.34	568.27	2089.8	+19.8	+16.1	+3.7
Mittel	14.20	3.44	728.93	568.20	2069.7	− 0.3	+ 0.0	+0.0

Den Verlauf beider Perioden zeigt deutlich die Tabelle VIII und die graphische Darstellung auf Tafel VI, Fig. 3. Als Beispiel sind daselbst die monatlichen Stundenwerthe des Septembers vom Jahre 1864 der Beobachtungen am St. Bernhard und in Genf gewählt worden. Man sieht, dass in der That innerhalb der Grenzen der Rechnungsgenauigkeit beide Perioden die Höhenperiode zusammensetzen.

V.

Die Erklärung der Erfahrungsresultate.

Aus den Erfahrungen, welche sich auf die Existenz einer täglichen und jährlichen Periode beziehen, erkennt man, dass in den der Theorie der barometrischen Höhenmessungen zu Grunde gelegten Voraussetzungen irgend welche Unzulässigkeiten enthalten sein müssen, da gegen die Theorie selbst Bemerkenswerthes kaum einzuwenden sein wird. Da die Correctionen wegen des Einflusses des Wasserdampfes und der Veränderungen der Schwere nur sehr unbedeutend sind, so bleibt nur der Luftdruck oder die Lufttemperatur übrig, in denen man die Quelle der periodischen Abweichungen zu suchen hat.

Weil man nun ferner das Gesetz der Abnahme des Luftdruckes mit der Höhe sehr genau kennt, und bei einem so leicht beweglichen elastisch-flüssigen Medium, wie es die Luft ist, dauernde und grössere Druckdifferenzen zwischen nicht zu entfernten Stationen nicht wahrscheinlich sind*), so bleibt nichts übrig, als die Lufttemperatur als Quelle der periodischen Unterschiede zwischen den barometrisch bestimmten und den wahren Höhen anzusehen.

---

*) Zwischen entfernteren Stationen kommen allerdings zeitweilig längere Zeit hindurch andauernde Druckdifferenzen vor, dieselben würden aber keineswegs periodische Abweichungen der berechneten Höhen hervorrufen.

Wenn die eingeführten Lufttemperaturen richtig wären, so müsste derjenige der im vorigen Capitel soeben erwähnten Theile der Höhenperiode, welcher von den Abweichungen der jeweilig eingeführten Lufttemperatur von der mittleren Temperatur herrührt, gleich aber von entgegengesetztem Vorzeichen sein, als derjenige Theil, welcher von den periodischen Veränderungen des Luftdruckes herrührt. Dieser letzte Theil der Periode entspricht nämlich der Aenderung des Luftgewichtes, welches zwischen der oberen und unteren Station enthalten ist. Der von den Aenderungen der Temperatur herrührende Theil der Periode aber entspricht den Veränderungen der Dichte der Luft. Daraus, dass sich gezeigt hat, dass die Höhenperiode hauptsächlich von den Abweichungen der eingeführten Lufttemperatur von den wahren mittleren Temperaturen der Luftsäule herkommt und aus dem Charakter dieser Abweichungen müssen wir schliessen, dass die Aenderungen der Temperatur der Luft nicht so bedeutend sind, als wir durch Einführung der Thermometerangaben voraussetzen, d. h. dass die Wärme der Luft sich während der Zeit einer Periode nicht um so viel und nicht so rasch ändert, als dies das arithmetische Mittel der Thermometerablesungen an der oberen und unteren Station angiebt.

Es liegt nach dem oben Gefundenen nahe den Versuch zu machen das Problem umzukehren und aus der bekannten Höhe, den gegebenen Drücken an beiden Stationen und dem specifischen Gewichte der Luft die mittlere Temperatur des zwischen der oberen und unteren Station enthaltenen Luftgewichtes zu bestimmen.

Die barometrische Höhenformel lautet, abgesehen von den unwesentlichen Correctionen für Luftfeuchtigkeit und Veränderlichkeit der Schwere:

$$h = K.\,(1 + \alpha\tau)\,.\log\frac{B}{b} \qquad 1)$$

worin h der Höhenunterschied der Stationen, K die Constante der Höhenformel, α der Ausdehnungscoefficient der Luft, τ die mittlere Temperatur der Luft und b und B die Barometerstände an der oberen und unteren Station bedeuten.

Hieraus findet man:

$$\tau = \frac{1}{\alpha} \cdot \left(\frac{h}{K} \cdot \log \frac{b}{B} - 1 \right) \qquad 2)$$

Da aber $K(1 + \alpha\tau)$ als barometrischer Coefficient A_τ meist in den logarithmischen hypsometrischen Tabellen enthalten ist, so wird man besser

$$K.(1 + \alpha\tau) = A_\tau$$

bestimmen und in der Tabelle die zu A_τ gehörige Lufttemperatur τ aufsuchen.

Nimmt man diese Rechnung z. B. mit demjenigen Monate vor, in welchem die Amplitude der täglichen Periode am grössten ist, d. h. mit Juli, so findet man aus den sechsjährigen Beobachtungen in Genf und am St. Bernhard die in der nachfolgenden Tabelle unter der Rubrik: »Wahre Lufttemperatur« aufgezeichneten Zahlen. Zum Vergleich sind die Mittel der gleichzeitig an den Thermometern jeder der Stationen abgelesenen Temperaturen hinzugefügt.

Tabelle IX.

Stunde	Temperatur		Wahre Lufttemperatur °C.
	Genf °C.	Bernhd. °C.	
0h Mittag	22.1	8.8	11.4
2h	23.0	9.0	12.0
4h	22.9	8.5	12.4
6h	21.8	7.3	12.6
8h	19.5	6.1	12.3
10h	17.5	5.7	11.9
12h	16.0	5.1	11.4
14h	14.5	4.3	10.9
16h	13.8	3.8	10.3
18h	15.0	4.4	10.1
20h	18.4	5.9	10.3
22h	20.4	7.9	10.8
Mittel	18.75	6.39	11.3

Man erkennt, dass sich während der ganzen Zeit von 24 Stunden die Lufttemperatur nur um ± 1.3 °C. ändert, während die Amplitude der täglichen Temperaturschwankung im Juli zu Genf 9.2 °C. und auf dem Bernhard 6.2 °C. beträgt, d. h. die Lufttemperatur nimmt an den täglichen Oscillationen der Thermometer nur sehr geringen Antheil.

Tabelle

Uebersicht der täglichen Periode

Zeit	December			Januar			Februar		
	Genf	wahre Luft-temp.	Bernhd.	Genf	wahre Luft-temp.	Bernhd.	Genf	wahre Luft-temp.	Bernhd.
	°C.	°C.	°C.	°C.	°C.	°C.	°C.	°C.	°C.
0h	+1.9	−2.0	−6.9	+2.1	−2.1	−6.5	+2.9	−3.1	− 6.7
2h	+2.4	−1.7	−6.9	+2.7	−1.9	−6.4	+3.8	−2.6	− 7.0
4h	+1.9	−1.7	−7.8	+2.2	−1.5	−7.6	+3.6	−2.4	− 8.1
6h	+1.1	−1.9	−8.3	+1 1	−1.6	−8.2	+2.3	−2.4	− 9.5
8h	+0.7	−1.9	−8.5	+0.6	−1.7	−8.3	+1.3	−2.5	− 9.8
10h	+0.3	−2.0	−8.5	+0.1	−1.7	−8.3	+0.4	−2.6	−10.0
13h	+0.1	−2.0	−8.5	−0.3	−1.7	−8.5	−0.3	−2.9	−10.0
14h	−0.1	−2.1	−8.6	−0.5	−2.0	−8.6	−0.7	−3.1	−10.1
16h	−0.3	−2.3	−8.6	−0.6	−2.2	−8.6	−1.2	−3.4	−10.5
18h	−0.5	−2.4	−8.7	−0.8	−2.2	−8.7	−1.4	−3.5	−10.3
20h	−0.4	−2.2	−8.5	−0.7	−2.1	−8.4	−1.1	−3.5	− 9.7
22h	+0.7	−2.1	−7.7	+0.6	−2.0	−7.6	+1.1	−3.4	− 8.0
Mittel	+0.65	−2.0	−8.13	+0.50	−1.9	−7.97	+0.91	−3.0	− 9.12
Ampl.:	2.9	0.7	1.8	3.3	0.7	2.3	5.2	1.1	3.8

Zeit	Juni			Juli			August		
	Genf	wahre Luft-temp.	Bernhd.	Genf	wahre Luft-temp.	Bernhd.	Genf	wahre Luft-temp.	Bernhd.
	°C.	°C.	°C.	°C.	°C.	°C.	°C.	°C.	°C.
0h	+19.4	+ 9.1	+6.1	+22.1	+11.4	+8.8	+21.5	+11.6	+8.7
2h	+20.3	+ 9.6	+6.3	+23.0	+12.0	+9.0	+22.7	+12.3	+9.0
4h	+20.3	+10.1	+5.9	+22.9	+12.4	+8.5	+22.6	+12.7	+8.3
6h	+19.1	+10.1	+4.7	+21.8	+12.6	+7.3	+21.1	+12.9	+7.2
8h	+17.0	+ 9.8	+3.5	+19.5	+12.3	+6.1	+18.6	+12.5	+6.2
10h	+15.4	+ 9.4	+3.1	+17.5	+11.9	+5.7	+16.9	+12.0	+5.8
12h	+14.2	+ 9.0	+2.6	+16.0	+11.4	+5.1	+15.6	+11.6	+5.4
14h	+13.0	+ 8.6	+1.8	+14.5	+10.9	+4.3	+14.1	+11.1	+4.8
16h	+12.6	+ 8.2	+1.4	+13.8	+10.3	+3.8	+13.2	+10.9	+4.3
18h	+13.8	+ 8.1	+2.0	+15.0	+10.1	+4.4	+14.1	+10.6	+4.9
20h	+16.4	+ 8.1	+3.4	+18.4	+10.3	+5.9	+17.4	+10.7	+6.3
22h	+18.1	+ 8.5	+5.1	+20.4	+10.8	+7.9	+19.7	+11.0	+7.9
Mittel	+16.64	+ 9.1	+3.82	+18.75	+11.3	+6.39	+18.13	+11.6	+6.56
Ampl.:	7.7	2.0	4.9	9.2	2.5	6.2	9.5	2.2	4.7

X.

der wahren Lufttemperatur.

Zeit	März			April			Mai		
	Genf	wahre Luft-temp.	Bernhd.	Genf	wahre Luft-temp.	Bernhd.	Genf	wahre Luft-temp.	Bernhd.
	°C.	°C.	°C.	°C.	°C.	°C.	°C.	°C.	°C.
0h	+6.8	−1.6	−5.4	+12.7	+3.5	+0.3	+17.7	+8.0	+4.1
2h	+7.7	−1.1	−5.4	+13.8	+4.3	+0.6	+18.6	+8.6	+4.4
4h	+7.6	−0.8	−6.5	+14.0	+4.7	−0.3	+18.5	+9.1	+3.7
6h	+6.3	−0.8	−8.05	+12.7	+4.7	−2.0	+17.0	+9.0	+2.4
8h	+5.1	−1.0	−8.55	+10.6	+4.4	−3.3	+14.9	+8.5	+1.1
10h	+4.1	−1.1	−8.8	+ 9.1	+4.1	−3.6	+13.4	+8.0	+0.7
12h	+3.3	−1.2	−8.9	+ 7.9	+3.6	−4.0	+12.2	+7.7	+0.2
14h	+2.5	−1.6	−9.3	+ 6.3	+3.0	−4.8	+10.8	+7.3	−0.4
16h	+1.8	−2.0	−9.5	+ 5.1	+2.5	−5.4	+ 9.9	+6.7	−0.8
18h	+1.9	−2.1	−9.3	+ 5.7	+2.2	−4.8	+10.9	+6.4	−0.3
20h	+3.1	−2.2	−7.9	+ 8.7	+2.4	−2.7	+14.0	+6.6	+1.4
22h	+5.4	−2.0	−6.35	+11.1	+2.8	−1.0	+16.1	+7.1	+3.0
Mittel	+4.63	−1.5	−7.82	+ 9.82	+3.5	−2.56	+14.50	+7.75	+1.63
Ampl.:	5.0	1.4	4.1	8.9	2.5	6.0	8.7	2.7	5.2

Zeit	September			Oktober			November		
	Genf	wahre Luft-temp.	Bernhd.	Genf	wahre Luft-temp.	Bernhd.	Genf	wahre Luft-temp.	Bernhd.
	°C.	°C.	°C.	°C.	°C.	°C.	°C.	°C.	°C.
0h	+17.7	+ 9.4	+5.8	+13.1	+6.9	+1.7	+6.8	+1.5	−2.9
2h	+18.7	+10.0	+5.9	+13.9	+7.2	+1.9	+7.2	+1.8	−3.2
4h	+18.5	+10.4	+5.3	+13.4	+7.5	+1.2	+6.5	+1.9	−4.2
6h	+16.9	+10.4	+4.1	+11.9	+7.3	+0.2	+5.7	+1.9	−4.8
8h	+14.9	+10.0	+3.5	+10.6	+7.0	−0.1	+5.1	+1.8	−5.0
10h	+13.5	+ 9.8	+3.1	+ 9.7	+6.9	−0.3	+4.9	+1.8	−5.2
12h	+12.6	+ 9.5	+2.9	+ 9.0	+6.8	−0.4	+4.5	+1.6	−5.3
14h	+11.5	+ 9.2	+2.3	+ 8.4	+6.6	−0.8	+4.2	+1.4	−5.3
16h	+10.5	+ 8.8	+2.0	+ 7.8	+6.3	−1.2	+3.9	+1.3	−5.3
18h	+10.8	+ 8.4	+2.3	+ 8.1	+6.0	−1.0	+3.9	+1.2	−5.4
20h	+13.6	+ 8.6	+3.8	+ 9.3	+6.1	−0.2	+4.2	+1.1	−5.1
22h	+16.2	+ 9.0	+4.8	+11.6	+6.4	+0.9	+5.6	+1.2	−4.0
Mittel	+14.64	+ 9.5	+3.82	+10.56	+6.7	+0.17	+5.20	+1.6	−4 64
Ampl.:	8.2	2.0	3.9	6.1	1.5	3.1	3.3	0.8	2.5

Da diese Lufttemperatur im eigentlichen Sinne des Wortes, welche wir künftighin wahre Lufttemperatur nennen wollen, jedenfalls von Interesse, für die Meteorologie sogar von Bedeutung ist, so folgen die Werthe derselben während der täglichen Periode in allen zwölf Monaten des Jahres, gerechnet aus den sechsjährigen Mitteln der Beobachtungen in Genf und am St. Bernhard in vorstehender Tabelle.

Die in dieser Tabelle enthaltenen Werthe finden sich in graphischer Darstellung sehr übersichtlich auf Tafel IV und Tafel V.

Vergleicht man die auf die angegebene Weise gefundene mittlere Lufttemperatur der Monate mit den aus den Thermometerablesungen erhaltenen Mittelzahlen, so findet man die Werthe der folgenden Tabelle.

Tabelle XI.

Monat	Temperatur		Wahre Lufttemperatur
	Genf °C.	Bernhd. °C.	°C.
December	+ 0.65	+8.13	− 2.04
Januar	+ 0.50	+7.79	− 1.85
Februar	+ 0.91	+9.12	− 2.96
März	+ 4.63	+7.82	− 1.49
April	+ 9.82	+2.56	+ 3.51
Mai	+14.50	−1.63	+ 7.75
Juni	+16.64	−3.82	+ 9 06
Juli	+18,75	−6.39	+11.34
August	+18.13	−6.56	+11.65
September	+14.62	−3.82	+ 9.49
Oktober	+10.56	−0.17	+ 6.74
November	+ 5.20	+4.64	+ 1.56
Jahresmittel:	+ 9.58	−1.47	+ 4.39
Amplitude	18.25	15.68	13.69

Siehe zu dieser Tabelle die graphische Darstellung der Werthe derselben auf Tafel VI, Fig. 2.

Man erkennt aus dieser Tabelle Folgendes: die Luft erwärmt sich bei Weitem nicht in dem Maasse und nicht so rasch als dies die Thermometer anzeigen; die Luft nimmt nur wenig und zögernd

Antheil an den täglichen Schwankungen und in sehr vermindertem Maasse an den jährlichen Schankungen der Temperatur.

Die Extreme der Lufttemperatur sind immer, sowohl bei der täglichen als auch bei der jährlichen Periode, gegen die Extreme der Thermometerangaben wesentlich verzögert.

Man ersieht die Richtigkeit dieser Sätze am Besten aus den graphischen Darstellungen.

Ehe aus diesen Beobachtungen die Schlüsse gezogen werden können, auf welche dieselben unmittelbar zu führen scheinen, muss man sich zunächst vergegenwärtigen, welche Vorstellungen man sich von dieser wahren Lufttemperatur, der Grösse τ, zu machen hat.

Die Lufttemperatur τ ist bekanntlich eine Funktion der Höhe, kann also immer dargestellt werden unter der Form:

$$\tau = f(h) \tag{3}$$

Alsdann ist nach der Art der Bestimmung der Grösse τ:

$$\tau = \frac{1}{h'' - h'} \int_{h'}^{h''} f(h) \, . \, dh \tag{4}$$

wenn man mit h' die Höhe der unteren und mit h'' die Höhe der oberen Station bezeichnet. Kann man sich nun aber innerhalb der Integrationsgrenzen in der Entwickelung von $f(h)$ nach Potenzen von h mit den ersten beiden Gliedern begnügen, d. h. kann ohne wesentlichen Fehler gesetzt werden:

$$f(h) = A + B \, . \, h, \tag{5}$$

wo A und B Constanten sind, so erhält man

$$\tau = A + B \, . \, \frac{h'' + h'}{2} \tag{6}$$

Unter der Voraussetzung, dass die Annahme 5) zulässig sei, gilt τ, d. h. der berechnete Werth der wahren Lufttemperatur, für den Halbirungspunkt der Verbindungslinie beider Stationen.

Da nun τ im Allgemeinen nicht mit dem arithmetischen Mittel derjenigen Temperaturen übereinstimmt, welche an der

oberen und unteren Station abgelesen worden sind, sich der Werth der wahren Lufttemperatur auch durch keine einfache Funktion derselben allgemeingültig aus diesen beiden Temperaturen ableiten lässt, und diese Grösse sowohl in der jährlichen als auch in der täglichen Periode einen sehr gesetzmässigen Verlauf zeigt, so kommt man zu dem Schlusse, die Thermometer der meteorologischen Stationen geben uns keine wahre Lufttemperatur, sondern andere Grössen.

Nach dem eben Gefundenen ist die Erklärung sowohl der täglichen als der jährlichen Periode der barometrischen Höhenmessungen aus der nämlichen Ursache leicht zu geben.

Die Thermometer geben, wie wir erkannt haben, durchaus keinen Aufschluss über die an den betreffenden Punkten herrschenden Lufttemperaturen, mithin werden sich aus den Ablesungen derselben an der oberen und unteren Station keine Schlüsse auf die mittlere Wärme der zwischen beiden Punkten liegenden Luftmasse machen lassen.

Die beiden Perioden der barometrischen Höhenmessungen rühren also davon her, dass dem Luftgewicht, welches zur Basis der Rechnung dient, falsche Temperaturen zugeschrieben werden, wenn das arithmetische Mittel der Thermometerablesungen an der oberen und unteren Station oder sonst eine einfache Funktion derselben als Lufttemperatur eingeführt wird.

Werden zu grosse Werthe für die mittlere Lufttemperatur in die Höhenformel eingesetzt, so entspricht denselben eine geringere Dichte der Luft und damit dem nämlichen, durch die Differenz der Barometerstände gemessenen Luftgewichte eine höhere Luftsäule, wir finden dann die Höhe zu gross. Führt man aber zu geringe Werthe ein, so entspricht, bei der dadurch zu gross angenommenen Dichte der Luft, dem vorhandenen Gewichte eine niedrigere Luftsäule, die Höhe wird zu klein berechnet.

Es drängt sich nach diesen Betrachtungen nun naturgemäss die Frage auf, was für eine Temperatur die Thermometer angeben, und woher diese wesentlichen Differenzen

zwischen ihren Angaben und der wahren Lufttemperatur kommen.

Wie bekannt rührt die tägliche sowohl als die jährliche Periode der Temperatur von der verschiedenen Bestrahlung des Bodens durch die Sonne her und zwar 1. durch verschieden lange Zeit hindurch, 2. unter verschiedenen Winkeln und 3. haben dieselbe ihre Ursache in der Ausstrahlung des Bodens gegen den kalten Himmelsraum.

Nach dem Kirchhoff'schen Gesetz sind für gleiche Temperaturen die Emissions- und Absorptionsvermögen derselben Substanz für Schwingungen gegebener Dauer einander gleich.

Der Erdboden, so verschieden er in seinen Beschaffenheiten auch sein mag, besitzt eine verhältnissmässig sehr grosse Absorptionsfähigkeit, derselbe muss sich also während der Bestrahlung sehr bedeutend erwärmen, während der Periode der Nichtbestrahlung aber auch entsprechend lebhaft abkühlen.

Die Luft hingegen, abgesehen zunächst von ihrer grossen Beweglichkeit, wird als sehr gut wärmedurchlassende Substanz mit geringem Absorptionsvermögen, sich während des Tages durch die hindurchgehenden Wärmestrahlen nur wenig erwärmen, ihre Temperatur wird sich nur wenig erhöhen; dafür aber wird die Luft auch während der Nacht durch die Ausstrahlung nur sehr wenig Wärme abgeben; mithin wird die Temperatur der Luft nur in geringem Maasse an den Temperaturänderungen des Erdbodens Antheil nehmen.

Bedenkt man ferner, dass der Luft wahrscheinlich eine bestimmte Wärmefarbe zukommt, so ist anzunehmen, dass ehe die Sonnenwärme bis zur Erdoberfläche gelangen wird, schon in den oberen Schichten der Atmosphäre diejenigen Schwingungen, welche der Wärmefarbe der Atmosphäre entsprechen, zum grössten Theil absorbirt worden sind, so dass für die unteren der Erdoberfläche näheren Schichten die oberen theilweise als Wärmeschirm dienen.

Als andere Ursache dafür, dass die Luft nur geringen Temperaturschwankungen unterworfen sein wird, tritt die Leichtbeweglichkeit derselben auf. Hat sich nämlich eine Luftmenge durch Leitung an der wärmeren Erdoberfläche erwärmt, so wird dieselbe dadurch weniger dicht, relativ leichter als ihre

Umgebung, sie steigt deshalb in die Höhe und zwar, indem sie gleichzeitig durch Leitung, Ausstrahlung und Umsetzung eines Theiles ihrer Wärme in Ausdehnung abgekühlt wird. Eine solche Luftmenge wird durch die ihr innewohnende lebendige Kraft sogar vielleicht ein wenig höher steigen als bis zu Luftschichten, deren Dichte der ihren entspricht. Ihr Platz an der Erdoberfläche wird sofort durch kältere Lufttheilchen ersetzt. Da nun aber die über dem Erdboden stehende Luftsäule ungemein gross ist, so wird jedes Theilchen immer sofort durch andere ersetzt, jedes Einzelne wird sich daher nur immer um wenig erwärmen, und es wird auch aus diesem Grunde sehr lange Zeit dazu gehören, ehe eine durchgreifende Erwärmung der ganzen Luftmasse eintritt.

Wir finden daher, dass die Luftmasse zwischen St. Bernhard und Genf sich nur sehr wenig durch die kurz andauernde tägliche Periode erwärmt, dass sie sich hingegen sehr merklich an der längeren jährlichen Periode betheiligt.

Die Thermometer, welche meist in der geringen Höhe von nur wenigen Fussen über dem Erdboden angebracht sind, müssen einen grossen Theil der strahlenden Wärme des Erdbodens und der Umgebung aufnehmen und daher vor allen Dingen diese Grössen angeben und können nur in untergeordneter Weise von der Lufttemperatur berührt werden. Alle Gegenstände auf der Erdoberfläche besitzen eine verhältnissmässig sehr grosse Absorptionsfähigkeit im Vergleich zu derjenigen der Luft, und alle diese Gegenstände werden theils durch direkte Bestrahlung durch die Sonne, theils durch die reflektirten und diffusen Wärmestrahlen mit erwärmt, so dass, wo wir auch unsere Thermometer aufhängen, wir nicht im Stande sind uns von Strahlungseinflüssen frei zu machen.

Wenn man unter Berücksichtigung dieser Gesichtspunkte die Verhältnisse genauer betrachtet, so ist es zu verwundern, wie man hat auf die absurde Idee kommen können, aus den Angaben zweier, der warmen oder kalten Erdoberfläche ungemein genäherten Thermometer einen Schluss auf die Temperatur der zwischen beiden Punkten liegenden Luftschicht machen zu wollen.

Die tägliche Periode der barometrischen Höhenmessungen findet also durch Folgendes ihre einfache Erklärung. Am Tage wird der Erdboden weit über die Temperatur der Luft erwärmt und veranlasst nun seinerseits die Thermometer durch Strahlung zu Angaben, welche grösser sind als die gleichzeitigen Lufttemperaturen. Wir schreiben dann der Luft eine zu geringe Dichte zu, und es gehört, um dasselbe Luftgewicht hervorzubringen, eine grössere Luftsäule dazu; wir finden also am Tage die Höhe zu gross. Wenn hingegen der Erdboden kälter ist als die Luft, so zeigen die Thermometer in Folge ihrer Ausstrahlung geringere Werthe als die Lufttemperatur, und wir finden die Höhe zu klein.

Aehnlich verhält es sich mit der jährlichen Periode, deren Dauer zwar viel grösser, in welcher aber auch die Differenzen der Temperaturen viel bedeutender sind.

Im Sommer wird während der langen Tage und kurzen Nächte die Erde überhaupt sehr stark erwärmt, die Luft wird trotz der längeren Dauer der Erwärmung den starken Temperaturerhöhungen nicht ganz folgen können, und es werden daher auch aus Tagesmitteln, also aus den vom Einflusse der Stunde befreiten Angaben zu grosse Werthe gefunden werden. Der entgegengesetzte Fall tritt im Winter ein; während der Erdboden bald seine Wärme ausgestrahlt hat und kalt geworden ist, brauchen die Luftmassen viel längere Zeit um ihre Temperatur zu erniedrigen, es tritt daher der Fall ein, dass die Erde kälter ist als die Luft und in Folge dessen die Thermometer zu niedrige Zahlen an Stelle der Lufttemperaturen geben und dann die Höhe zu klein gefunden wird.

Nachdem so gezeigt worden ist, dass also einer der Voraussetzungen der barometrischen Höhenmessungen nicht einmal annähernd genügt ist, und dass bei einzelnen Beobachtungen sogar nie Gewissheit erhalten werden kann, ob derselben entsprochen ist oder nicht, so ist es nun auch leicht einzusehen, warum unter Umständen einzelne barometrische Höhenbestimmungen so gute Uebereinstimmung mit trigonometrischen Messungen und mit Nivellements gezeigt haben, während hingegen andere, welche mit nicht geringerer Sorgfalt ausgeführt waren, so bedeutend von den wahren Werthen abgewichen sind.

Es ist ferner zu bedenken, dass diesen Betrachtungen bis jetzt immer Monatsmittel aus 6jährigen Beobachtungen zu Grunde gelegt worden sind, dass also jede Zahl das Mittel aus ungefähr 180 einzelnen, denselben Verhältnissen entsprechenden Ablesungen vorstellt. Die Abweichungen zwischen wahrer Lufttemperatur und Thermometerangaben, welche aus Tabelle X und XI und Tafel IV und V zu ersehen sind, gelten demnach nur für mittlere Verhältnisse; im einzelnen Falle kommen gewiss sehr beträchtliche Abweichungen von diesen Mittelwerthen vor. Zumal muss der jeweilige Bewölkungsgrad einen sehr wesentlichen Einfluss ausüben, da die Wolken die Ein- und Ausstrahlung, also die eigentliche Ursache aller dieser Verhältnisse sehr zu modificiren im Stande sind. Im besonderen Falle werden daher die Thermometer oder die Mittel aus ihren Ablesungen sehr nahe die Lufttemperatur angeben können, auch zu Zeiten, wo dies im Allgemeinen nicht der Fall sein würde; andererseits werden unter geeigneten Umständen Differenzen zwischen beiden Temperaturen um den mehrfachen Betrag der mittleren Grösse des Unterschiedes vorkommen können. Auf solche Weise erklärt sich der grösste Theil der beträchtlichen Abweichungen, auf welche Pick *) seinerzeit hingewiesen hat und man hat nicht nöthig ihretwegen entweder die Theorie anzuzweifeln, oder die Einwirkung ganz unbekannter Ursachen vorauszusetzen.

Wenn es z. B. längere Zeit hindurch fortwährend trübe gewesen ist, Luft und Boden also verhältnissmässig sehr kalt sind, und der Himmel heitert sich plötzlich auf, so trocknet der Erdboden bald ab und kann sich unter Einwirkung der Sonnenstrahlen rasch stark erwärmen. Die Luft kann in kurzer Zeit ihre Temperatur nur um sehr wenig ändern. Macht man unter solchen Umständen eine barometrische Höhenmessung, und nimmt das Mittel aus den Angaben der Thermometer an der oberen und unteren Station für die wahre Lufttemperatur, so wird man sich um 10° und vielleicht um mehr irren können. Zumal bei grossen Höhen ist unter solchen Verhältnissen eine

---

*) Pick, A. J., Über die Sicherheit barometrischer Höhenmessungen. Sitzungsbericht der Wiener Akademie v. J. 1855.

Abweichung um mehrere hundert Fuss leicht erklärlich, trotzdem, dass an beiden Stationen mit grosser Sorgfalt beobachtet sein kann und mehrere, rasch nacheinander angestellte Beobachtungen unter sich recht gut übereinstimmen.

Dass solche Fälle oft genug sich ereignet haben, zeigt eine einfache Uebersicht barometrisch bestimmter Höhen.

Gegen die Fehler, welche auf diese Weise gemacht werden, sind alle diejenigen jedenfalls fast verschwindend, welche durch andere Einflüsse bei barometrischen Höhenmessungen entstehen können, welche (bei genügender Nähe der Stationen) z. B. von relativen Druckdifferenzen, von der Richtung des Windes, von Terrainbeschaffenheiten u. s. f. herrühren. Man konnte sich über die Grösse dieser Einflüsse so lange kein richtiges Urtheil bilden, als die fundamentalen Thatsachen der barometrischen Höhenmessungen: die tägliche und jährliche Periode, nicht gründlich studirt waren.

Abgesehen von den specielleren Anwendungen, die bis jetzt behandelt worden sind, ist in der wahren Temperatur der Luft jedenfalls ein meteorologisches Element gegeben, dessen Bedeutung nicht zu unterschätzen sein dürfte. Ihre grosse Wichtigkeit für die Theorie der Refraktion ist leicht zu ermessen.

Wenn man sich erst klar geworden ist, dass die Thermometer hauptsächlich nur Strahlungseinflüsse angeben, so werden eine Menge von Erfahrungen leicht verständlich, zu deren Erklärung man sonst nicht selten complicirter Apparate von Hypothesen bedurfte.

Wenn wir z. B. bemerken, dass bei zweien der 24stündigen Beobachtungsreihen auf dem Valtenberge in der Nacht vom 31. August zum 1. September und in der Nacht vom 13. zum 14. September die Temperatur um mehrere Grade höher war als im Thale, an der Station Neukirch, so erklärt sich dies einfach dadurch, dass im Thale das Thermometer nach sehr vielen Seiten hin gegen den durch Strahlung stark abgekühlten Erdboden seine Temperatur abgeben konnte, dass hingegen auf dem Berggipfel die Strahlung eine untergeordnetere Rolle spielte, da hier eine verhältnissmässig kleine Bodenfläche dem Thermometer nahe war und der nahe Hochwald und die reichere Vegetation weit weniger geeignet ist, stark auszustrahlen.

Die Thatsache, dass auf höheren Punkten gegen die gewöhnliche Erfahrung höhere Temperaturen stattfinden als an tiefer gelegenen Orten, ist oft genug beobachtet worden, um unzweifelhaft constatirt zu sein; dieselbe findet zum Theil durch obige Betrachtungen ihre Erklärung.

Für unsere persönliche Empfindung und für die unmittelbar auf der Erdoberfläche befindlichen organischen Wesen ist natürlich die durch Strahlung hervorgebrachte Temperatur die maassgebende, aber auch für diese behält die Angabe des Thermometers nicht vollständig ihre gebräuchliche Bedeutung; denn der durch Strahlungseinflüsse hervorgebrachte Antheil der Temperatur eines Körpers wird wesentlich durch dessen Oberflächenbeschaffenheit, Wärmeleitungsfähigkeit und Wärmecapacität etc. beeinflusst, daher wird die Angabe eines Thermometers gerade auch nur diesem wesentlich eigenthümlich sein. Ueberall da aber, wo man nach Lufttemperaturen zu fragen genöthigt ist, wird man sich eines indirekten Weges zur Bestimmung derselben bedienen müssen, und wird sich bewusst bleiben müssen, dass über diese die Ablesung am Thermometer keinen Aufschluss gewährt. Um zu zeigen, dass auch die mehr unregelmässigen Abweichungen der einzelnen barometrischen Höhenmessungen ihre wesentliche Ursache in einer falschen Beurtheilung der Lufttemperatur finden, sind die wahren Lufttemperaturen auf die oben angegebene Weise auch aus einer der 24stündlichen Reihen abgeleitet worden, welche am Valtenberg, angestellt sind, und zwar haben die Beobachtungen vom 31. August zum 1. September dazu gedient.

Man findet allerdings direkt aus den Beobachtungsresultaten eine ziemlich unregelmässige Reihe von Werthen für die wahre Lufttemperatur und es könnte dies leicht gegen die Richtigkeit obiger Annahmen einnehmen. Die berechneten Zahlen finden sich in der vorletzten Columne der Tabelle I auf pag. 51. Man muss aber, um dieses Resultat richtig beurtheilen zu können, untersuchen, von welchem Einfluss Fehler sein würden, welche in der Ablesung der Barometer stattgefunden haben.

Zu diesem Zwecke geht man wieder am Besten aus von der abgekürzten Formel für barometrische Höhenmessungen:

$$h = K . (1 + \alpha \tau) . \log \frac{B}{b} \qquad 7)$$

Differenzirt man diese logarithmisch, so findet man:

$$0 = \frac{\alpha . d\tau}{1 + \alpha . \tau} + \frac{M}{\log B - \log b} \cdot \left(\frac{dB}{B} - \frac{db}{b} \right) \qquad 8)$$

worin M den Modulus des Brigg'schen Logarithmensystems bedeutet:

Nimmt man aber nun an, dass die Fehler bei der Bestimmung der Barometerhöhen an der oberen und unteren Station gleich gross sind, aber in entgegengesetztem Sinne begangen werden, d. h. setzt man voraus

$$db = - dB \qquad 9)$$

so findet man:

$$d\tau = \frac{M . (1 + \alpha \tau)}{\alpha . (\log B - \log b)} \cdot \left(\frac{1}{B} + \frac{1}{b} \right) \cdot dB \qquad 10)$$

und hieraus unter Einsetzung der mittleren Barometerstände und der berechneten mittleren wahren Lufttemperatur:

$$d\tau = 54.82 \times dB \qquad 11)$$

Ist also z. B. an der oberen und unteren Station nach entgegengesetzten Richtungen ein Fehler von 0.1 Linie begangen worden, welcher nach vielen Forschern das Maximum des Gesammtfehlers bei einer Einstellung beträgt, so ist der hieraus entspringende Fehler in der mittleren Lufttemperatur $\pm$ 5°.48.

Nach vielen Erfahrungen glaube ich aber den mittleren Fehler eine Einstellung und Ablesung an einem Barometer mit Diopter und 0.1 Linie Angabe des Nonius für geübte Beobachter im Mittel zu 0.05 Linie annehmen zu müssen, woraus sich ergiebt, dass bei jeder Beobachtung noch immer ein Fehler von 2°.7 wahrscheinlich ist*).

Hieraus erfährt man ohne Weiteres, dass die direkt aus den Beobachtungen abgeleiteten Lufttemperaturen noch mit grossen zufälligen Fehlern behaftet sind. Da man aber annehmen kann, dass diese Fehler bei einer so grossen Anzahl von Beobachtungen sich sehr nahe den Voraussetzungen der

*) Sind die beiden Stationen sehr weit entfernt, so können durch ungenügende Erfüllung der Voraussetzung des Gleichgewichtszustandes der Atmosphäre für dB und db sehr grosse Werthe vorkommen.

Methode der kleinsten Quadrate anschliessen werden, so ist dies ein Fall, wo die Anwendung dieses Verfahrens entschieden am Platze scheint. Wir benutzen zur Ausgleichung, mit Rücksicht auf den Umstand, dass diese Annäherung bei den Höhencurven so ausgezeichnete Dienste geleistet hat, und dass wir es mit einer periodischen Erscheinung zu thun haben die Formel:

$$\tau = A + B . \sin\left(\beta + \frac{2\pi}{T} x\right) + C . \sin\left(\gamma + \frac{4\pi}{T} . x\right) + \text{etc.etc.} \quad 12)$$

worin A, B, C, β, γ etc. Constante sind, deren Werthe aus den Beobachtungen ermittelt werden, und T die Dauer der Periode $=$ 24 Stunden bedeutet.

Die Rechnung ergab:

$$\tau^{0C} = 17.78 + 0.80 \sin(13^0 42' + 15^0_. x^h) + 1.67 (327^0 45' + 30^0_. x^h) + 0.52 \sin(229^0 59' + 45^0_. x^h) \quad 13)$$

Ueberlegt man, dass die Ursache der Unterschiede der Temperaturen der Luft zu verschiedenen Zeiten des Tages in der Bestrahlung des Erdbodens und der Durchstrahlung der Luft durch die Sonne zu suchen ist, und diese Ursache in 24 Stunden nur einmal, aber vollständig abläuft, so sieht man leicht ein, dass das erste Glied, als in derselben Periode ablaufend, das Wesentlichste sein muss. Das zweite Glied, für welches sich gar keine Erklärung finden lässt, und welches das erste bedeutend übertrifft, drückt der ganzen Erscheinung einen unnatürlichen Charakter auf. Man erkennt also, dass entweder die Anwendung einer Ausgleichung nach einer periodischen Funktion nicht zulässig ist, oder man muss sich, mit Rücksicht auf die fast vollkommenen Sinoïdengestalten der Curven, welche am St. Bernhard gefunden worden sind, entschliessen, das zweite und dritte Glied, als von Beobachtungsfehlern herrührend, wegzuwerfen. Damit erhält man die Formel:

$$\tau = 17.78 + 0.80 \sin(13^0 42' + 15^0_. x^h) \quad 14)$$

Man findet, wenn man diese Curve betrachtet, eine Amplitude von 1°,6 und das Maximum und Minimum zu denselben Zeiten, welche die am St. Bernhard aus 6jährigen Beobachtungen abgeleiteten Mittel ergeben haben. Bemerkenswerth ist aber, dass selbst die grössten Abweichungen noch sehr bequem durch sehr geringe Beobachtungsfehler zu erklären sind.

Jedenfalls geht aus dieser Untersuchung hervor, dass auch bei verhältnissmässig geringen Höhen, wo das Luftgewicht, um dessen Temperatur es sich handelt, nicht sehr weit von der Erdoberfläche entfernt ist, die Temperatur desselben ebenfalls nur wenig und zögernd an den Schwankungen der Thermometer Antheil nimmt.

Dass die Lufttemperatur aber selbst an der Erdoberfläche meist eine andere ist, als die von den Thermometern angezeigte, beweist der Umstand, dass selbst bei sehr kleinen Höhen oder bei Punkten, wo das Terrain von einem zum anderen fast gleichmässig ansteigt, so dass die abzuwägende Luftsäule allerorts mit dem Erdboden in Berührung ist; die Rechnung der Höhen aus den beobachteten Thermometer- und Barometerständen immer deutliche tägliche und jährliche Periode zeigt.

Ich erinnere z. B. an die mannichfachen Beobachtungen Ramond's über diesen Gegenstand und die Höhenrechnungen, welche z. B. Galle*) aus den meteorologischen Beobachtungen zu Petersburg und zu Katharinaburg abgeleitet hat.

Ich sehe ab davon diese Beobachtungen selbst aufzuführen, da sich diese Consequenzen nach dem früher Gesagten leicht erklären und ableiten lassen.

---

*) Galle in: Pogg. Ann. Bd. 24; pag. 285.

VI.

Anwendungen auf praktische Meteorologie.

Auf die Wichtigkeit, welche die Kenntniss der wahren Lufttemperatur und der Gesetze ihrer Veränderungen für die Theorie der Strahlenbrechung in der Atmosphäre haben muss, ist schon in dem vorhergehenden Capitel aufmerksam gemacht worden. Erst neuester Zeit hat GYLDÈN*) in einer Abhandlung, betitelt: »Untersuchungen über die Constitution der Atmosphäre und die Strahlenbrechung in derselben« den Versuch gemacht durch Einführung eines neuen Gesetzes für die Temperaturabnahme nach der Höhe zu Refraktionsformeln zu gelangen, welche in grossen Zenithdistanzen eine bessere Uebereinstimmung mit der Praxis zeigen, als dies bei der BESSEL'schen Formel der Fall ist.

Die erzielten Resultate wären jedenfalls noch bessere gewesen, wenn den Untersuchungen wahre Lufttemperaturen zu Grunde gelegt worden wären.

In ähnlicher Weise sind die in den vorigen Capiteln gefundenen Resultate für einen Zweig der Physik der Atmosphäre von Bedeutung, der zwar schon seit langer Zeit den Naturforschern vielfach Anlass zu theoretischen und praktischen Untersuchungen gegeben hat, welcher jedoch bis jetzt noch nicht endgültig erledigt worden ist.

*) GYLDÈN, in: *Mémoires de l'Académie de St. Petersbourg. Sér.* VII. Vol. X.

Es ist dies das **Gesetz der Abnahme der Temperatur nach der Höhe.**

Um dieses Problem vollständig zu lösen, muss ebenfalls der Unterschied zwischen klimatischer und wahrer Lufttemperatur berücksichtigt werden. Da man dies bis jetzt nicht gethan hat, so mussten, wie die Erfahrung auch gezeigt hat, bei Vermischung beider verschiedener Grössen die Untersuchungen entweder zu gar keinen oder zu unbestimmten Resultaten führen.

Um Arbeiten von allgemeinerer Bedeutung in dieser Richtung anstellen zu können, fehlt es bis jetzt noch vollständig an Material. Die einzige vorhandene Beobachtungsreihe, welche mir geeignet schien, einige Aufschlüsse hierüber zu geben, ist diejenige, welche BAUERNFEIND am Miesing erhalten hat, welche schon mehrfach hier erwähnt worden ist.

Da bei derselben drei Stationen mit Barometern versehen waren, deren Seehöhen in Metern genau bekannt sind, so ist man damit im Stande die Lufttemperatur für zwischen denselben gelegene Punkte, also wahrscheinlich für Höhen zu berechnen, welche die arithmetischen Mittel aus den Seehöhen der drei Stationen sind.

Da ferner die Höhen der drei Stationen $h_, = 815.4^{met}$, $h_{,,} = 1355.6^{met}$, $h_{,,,} = 1883.5^{met}$ gerade so gewählt sind, dass $\frac{h_, + h_{,,,}}{2} = 1349.5$ sehr nahe mit $h_{,,}$ übereinstimmt, so kann man ausser der Abnahme der Lufttemperatur nach der Höhe, welche zu jener Zeit stattgefunden hat, auch noch den Unterschied zwischen der an $h_{,,}$ stattfindenden wahren Lufttemperatur und den Angaben der Thermometer an derselben bestimmen.

Als Rechnungsunterlage dienten mir die Mittel der sechs BAUERNFEIND'schen Beobachtungstage. Ich habe mir dabei erlaubt, den Mitteln aus vier und denjenigen aus sechs Beobachtungen gleiches Gewicht beizulegen.

Damit man die Data einzeln verfolgen kann, auf welche sich die Rechnung stützt, gebe ich in nachfolgender Tabelle XII eine Uebersicht derselben nebst den Rechnungsresultaten, welche direkt aus ihnen abgeleitet worden sind.

Es sind hierbei die Rechnungen, wie es auch schon früher geschehen ist, mit einem mittleren Feuchtigkeitsgehalt der

Atmosphäre geführt worden, den man erhält, wenn man das arithmetische Mittel aus sämmtlichen beobachteten Feuchtigkeitsangaben an den jedesmaligen oberen und unteren Stationen der zu untersuchenden Luftsäule bildet.

Tabelle XII.

Beobachtungen von BAUERNFEIND am hohen Miesing im August d. J. 1857.

	Mittel		Abweichungen der gerechneten von den gemessenen Höhen am:						Mittel in	Barometer-differenz	wahre Luft-temperatur
	der Temperatur	des Barometerstandes	20.	22.	23.	24.	26.	27.			
	°C.	'''	'	'	'	'	'	'	'	'''	°C.
	Station I		Höhendifferenz zwischen Station I und V = 3659.'8								
8h	12.7	308.05	− 2.1	−30.8	− 9.2	−26.4	−17.4	−23.4	−19.9	36.46	11.5
9h	14.0	307.69	+24.9	−29.5	−17.1	−26.4	−27.3	−18.3	−15.6	36.25	12.5
10h	15.5	307.65	+24.8	−13.8	+16.1	−14.7	−25.8	− 2.8	+ 6.0	36.22	12.8
11h	16.6	307.68	+36.3	+13.3	+12.3	− 0.2	−11.2	+ 3.9	+ 9.1	36.26	12.5
12h	18.0	308.28		+26.1	+11.8		+ 1.0	+11.7	+11.7	36.21	13.3
1h	18.1	308.26		+44.1	+ 4.0		+ 3.6	+14.8	+14.8	36.21	13.3
2h	18.5	308.20		+45.1	− 5.4		+ 0.6	+12.3	+12 3	36.15	13.7
3h	18.5	307.74		+ 6.3	+ 7.9	+22.4	+ 7.1	− 1.7	+ 8.3	36.05	14.0
4h	17.9	307.71		+16.0	+ 0.9	+ 5.9	− 5.8	+ 2.1	+ 2.1	36.01	14.2
5h	16.0	307.65		− 6.0	+17.5	+ 1.1	−25.0	−13.7	−13.7	36.00	14.3
6h	13.3	307.64		−28.7	−35.6	−17.5	−31.2	−31.9	−31.9	36.06	13.8
	Station III		Höhendifferenz zwischen Station III und V = 1809.'0								
8h	11.2	289.09	− 2.3	−12.2	−19.4		− 5.0	− 3.8	− 8.5	17.50	10.9
9h	13.0	288.85	+12.8	−11.9	−23.0	− 1.6	− 8.9	+ 9.3	− 3.9	17.42	11.7
10h	13.6	288.92	+18.7	+11.3	+12.4	− 5.5	−20.2	+18.7	+ 5.9	17.49	10.8
11h	14.2	288.88	+29.1	+17.0	+13.6	− 0.2	−25.4	− 2.7	+ 5.2	17.46	11.2
12h	14.9	289.54		+34.7	+ 8.6		−17.1	+ 2.7	+ 7.2	17.47	11.6
1h	15.3	289.55		+35.1	+ 0 1		− 0.2	+12.6	+11.9	17.50	11.2
2h	15.1	289.53		+39.6	− 3.6		− 3.2	+ 9.4	+10.6	17.48	11.5
3h	15.0	289.09		+ 5.0	+ 1.1	+ 8.5	− 9.3	+ 4.2	+ 2.1	17.40	12.2
4h	13.7	289.06		+12.7	+10.1	−17.2	−11.0	−10.6	− 3.2	17.36	12.7
5h	12.5	288.96		−17.4	− 1.3	−17.8	−25.7	− 4.4	−13.3	17.31	13.3
6h	12.0	288.90		−10.2	+ 1.0	−12.0	−30.8	−16.1	−15.1	17.32	13.1
	Station V		Höhendifferenz zwischen Station I und III = 1850.'8								
8h	8.1	271.59	+ 3.6	−12.4	+17.7		− 2.1	− 7.1	− 0.1	18.96	12.0
9h	9.5	271.43	+16.6	−15.2	+13.6	− 6.4	− 6.3	+ 7.3	+ 1.6	18.83	13.3
10h	9.7	271.43	− 6.7	−19.0	+ 1.8	+ 8.3	+ 2.9	+ 7.6	− 0.9	18.73	14.6
11h	9.7	271.42	+ 9.4	+ 2.3	+ 3.1	+13.8	+22.2	+22.2	+12.2	18.80	13.8
12h	10.1	272.06		+ 1.2	+ 2.5		+26.5	+12.4	+10.5	18.74	15.0
1h	10.2	272.05		+10.6	+10.9		+18.5	+ 2.6	+10.5	18.71	15.4
2h	10.3	272.05		+ 6.7	+ 6.6		+14.5	+ 1.6	+ 7.3	18.67	15.8
3h	10.7	271.69		+ 4.5	+ 4.6	+13.5	+26.7	− 3.5	+ 9.2	18.65	15.7
4h	10.5	271.70		+ 0.6	−14.8	+14.8	+ 5.9	+ 1.1	+ 1.5	18.65	15.7
5h	10.4	271.65		+ 4.1	−23.7	+ 9.4	+ 0.2	−21.0	− 6.2	18.69	15.2
6h	10.1	271.58		−13.9	−31.5	−10.4	+ 4.5	+20.1	−14.3	18.74	14.5

*) Eingeführter Dunstdruck f. Station I: 5'''.03.

**) Eingeführter Dunstdruck f. Station III: 3'''.91.

***) Eingeführter Dunstdruck f. Station V: 3'''.48.

Aus diesen Zahlen sind folgende wahre Lufttemperaturen und aus diesen folgende Temperaturabnahmen nach der Höhe berechnet worden:

Tabelle XIII.

Stunde	wahre Lufttemperatur in einer Höhe von			Abnahme um je 1 °C. aus den Columnen		
	met 1085.5	met 1349.5	met 1619.5	1 u. 2	1 u. 3	2 u. 3
	°C.	°C.	°C.	met	met	met
8	12.0	11.5	10.9	528	487	450
9	13.3	12.5	11.7	330	334	337
10	14.6	12.8	10.8	147	141	135
11	13.8	12.5	11.2	203	206	208
12	15.0	13.3	11.6	156	157	159
1	15.4	13.3	11.2	126	127	129
2	15.8	13.7	11.5	126	125	123
3	15.7	14.0	12.2	156	154	150
4	15.7	14.2	12.7	176	178	180
5	15.2	14.3	13.3	294	281	300
6	14.5	13.8	13.1	378	382	386

Man ersieht aus dieser Zusammenstellung: die Abnahme der Lufttemperatur nach der Höhe ist ihrer Grösse nach zu verschiedenen Zeiten sehr verschieden, und zwar früh am kleinsten und zur Mittagszeit am grössten; dieselbe scheint in den unteren Luftschichten fast streng proportional der Höhe stattzufinden.

Es kann daraus erkannt werden, dass wenn man im Stande wäre wahre Lufttemperaturen zu erhalten, die Einführung des arithmetischen Mittels derselben, an der oberen und unteren Station wahrscheinlich ziemlich gerechtfertigt wäre und dass alle anderen aus theoretischen Betrachtungen abgeleiteten Resultate, welche nicht hiermit übereinstimmen, zu verwerfen sind.

Wir finden für die geographischen und speciellen physikalischen Verhältnisse jener Gegend und die Zeit (Ende August) der Beobachtungen für die Temperaturabnahme mit der Höhe numerische Werthe, die in obiger Tabelle enthalten sind. Aus der guten Uebereinstimmung der erhaltenen Zahlen, welche trotz der geringen Anzahl zu Grunde gelegter Beobachtungen

stattfindet, ist zu erwarten, dass wenigstens die gegenseitigen Beziehungen derselben auch allgemeine Geltung haben werden.

In wie weit aber die Mittel aus vielen Ablesungen an den Thermometern selbst bei sehr günstigen Verhältnissen von der daselbst stattfindenden Lufttemperatur abweichen, zeigen die für die Höhe 1355.6^{met} abgelesenen und für 1349.5^{met} gefundenen Lufttemperaturen (Tabelle XII, zweite und letzte Columne). Mittel aus den Beobachtungszahlen hinzuzufügen, wie dies Bauernfeind gethan hat, hielt ich für unnöthig. Dieselben würden von den mittleren Tagestemperaturen weit entfernt sein, da sämmtliche Temperaturen während der Nacht fehlen.

Während der Nacht würde, wie sich aus der Analogie mit anderen täglichen Perioden barometrischer Höhenmessungen schliessen lässt, Bauernfind wahrscheinlich durchaus negative Werthe für die Höhenperiode gefunden haben; darauf deutet auch die negative Constante = — 41.′5, welche er*) bei der Ausgleichung seiner Beobachtungen nach der Methode der kleinsten Quadrade erhalten hat.

Mittel der Ablesungen an den Instrumenten aus einer vierundzwanzigstündigen Periode würden damals am Miesing eine viel zu kleine Höhe gegeben haben, d. h. die Luft würde im Mittel viel wärmer gewesen sein, als die in Rechnung gezogene Temperatur angegeben hätte.

Nachdem in den vorhergehenden Abschnitten die theoretischen Grundlagen der barometrischen Höhenmessungen ziemlich eingehend discutirt worden sind, dürfte es nicht überflüssig sein einige Consequenzen hieraus für die Praxis dieser Messungen selbst zu ziehen.

Bekanntlich werden von reisenden Geographen und Naturforschern, Militärs etc. noch immer Höhen wichtiger Punkte mit Hülfe von Barometer und Thermometerbeobachtungen bestimmt, und für die Ermittelung von Seehöhen meteorologischer Stationen in Ländern, über welche noch kein cor-

*) Bauernfeind, Beobachtungen und Untersuchungen über die Genauigkeit barometrischer Höhenmessungen etc. etc. München 1862. pag. 63.

rektes Nivellement erstreckt ist, wird noch immer diese Methode benutzt.

Da für wissenschaftliche und praktische Zwecke ein entschiedenes Bedürfniss nach einem leichten Mittel Höhen zu bestimmen vorhanden ist, so wird man wohl, soviel Bedenken sich auch dagegen erheben mögen; vorläufig die barometrischen Höhenmessungen noch nicht ganz verbannen dürfen.

Berücksichtigt man, dass der Luftdruck sowohl als die Temperatur einerseits eine tägliche Periode haben, anderseits oft in kurzer Zeit wenigstens sehr raschen Veränderungen unterliegen können, so ist es wohl ganz selbstverständlich, dass die Benutzung nicht correspondirender Ablesungen, welche etwa nach einander an zwei Orten gemacht sind, deren Höhenunterschied bestimmt werden soll, nur zu ganz rohen Messungen dienen kann.

Selbst im Verlauf von wenigen Stunden kann sich der Druck der Luft um mehrere Linien, und die Temperatur um mehrere Grade ändern, so dass sehr bedeutende Abweichungen eintreten können, welche zumal bei kleinen Höhen sehr wesentlich ins Gewicht fallen würden.

Eben so unbrauchbar ist eine Methode, welche zumal von älteren Schriftstellern (Lindenau, Horner) empfohlen worden ist, jetzt aber selbst von Reisenden kaum mehr angewendet wird. Nach dieser werden nur isolirte Beobachtungen angestellt und alsdann angenommen, dass an einem Punkte, welcher senkrecht unter dem Beobachtungsorte auf dem Meereshorizont liegt, stets ein gleicher Druck (von 760^{mm}) stattfinden soll. Man rechnet unter Zugrundelegung einer fingirten Temperatur an der Meeresfläche zunächst eine angenäherte Höhe. Dann sucht man, unter Annahme einer gleichmässigen Verminderung der Wärme mit der Höhe, aus der gefundenen Höhe eine angenäherte Temperatur für den unteren Punkt, rechnet einen neuen Näherungswerth und fährt so fort, bis man glaubt der Wahrheit genügend nahe gekommen zu sein.

Diese beiden genannten Versuchsweisen sind ganz zu verwerfen, da bei ihnen die Voraussetzungen, welche den barometrischen Höhenmessungen zu Grunde liegen, durchaus nicht erfüllt zu sein brauchen, und man über die Grösse der Ab-

weichungen der thatsächlichen Verhältnisse von den vorausgesetzten sich nicht einmal ein annäherndes Urtheil bilden kann. Beide Methoden entbehren somit der wissenschaftlichen Berechtigung.

Sehr vielfach jedoch bedient man sich noch jetzt eines andern Verfahrens, nämlich desjenigen der correspondirenden Bestimmungen. Nach demselben stellt man an der oberen und unteren Station, deren Höhendifferenzen ermittelt werden soll, gleichzeitige Barometer-, Thermometer- und Psychrometerbeobachtungen an und legt diese der Rechnung zu Grunde. PREDIGER, BAUERNFEIND, KREIL haben den Genauigkeitsgrad dieser Methode theoretisch und durch eigene Beobachtungen, die sie der Discussion unterzogen, untersucht. Sie bemerkten dabei, dass vor allem die Stationen nicht zu grosse horizontale Entfernungen haben dürfen und dass nur bestimmte Tageszeiten einigermaassen zuverlässige Resultate geben.

BAUERNFEIND giebt*) an, dass barometrische Höhenmessungen zwischen 10^h früh und 4^h Nachmittag zu grosse, gegen 10^h und gegen 4^h aber nahezu richtige Werthe für die gesuchten Höhenunterschiede lieferten. Es ist dies aber nur für die zufälligen Verhältnisse richtig, welche während der Zeit, zu welcher er seine Beobachtungen anstellte, stattfanden, und diese sind sogar, wie der Vergleich mit den sehr zuverlässigen Mittelzahlen aus den Beobachtungen in Genf und am St. Bernhard zeigt, durchaus keine normalen gewesen; abgesehen davon, dass diese Angabe, wenn auch die Verhältnisse normale gewesen wären, nur für die Zeit der Anstellung der Versuche (August) berechtigt sein würde.

Regeln von allgemeinerer Bedeutung lassen sich aus den täglichen Perioden der Höhendifferenzen ableiten, welche für alle Monate von mir bestimmt worden sind (man sehe Tabelle V und VI, pag. 58 bis 61 und Tafel II und III).

Es ist aber ganz selbstverständlich, dass je nach den lokalen und zufälligen Verhältnissen, je nachdem der Boden ein starkes Ein- und Ausstrahlungsvermögen besitzt, je nachdem kalte oder warme Winde herrschen, und je nachdem der Ver-

---

*) A. a. O. pag. 142.

lauf der Ein- und Ausstrahlung des Bodens eine ganz regelmässiger oder durch Bewölkung gehinderter ist, Abweichungen von diesen Mittelzahlen vorkommen können, welche uns nöthigen, denselben nur eine beschränkte Gültigkeit zuzusprechen.

Es ist unzweifelhaft, dass unter besonders ungünstigen Umständen Abweichungen der eingeführten Lufttemperatur von der wirklich vorhandenen bis zu 10^0 möglich sind, und dass man auf einige Grade nicht sicher ist, wenn man für die Temperatur der Luftsäule das arithmetische Mittel der Thermometerablesungen an der oberen und unteren Station benutzt.

Nimmt man an, dass die Barometerstände vollkommen richtig bestimmt wären, so stellt sich der von einem Fehler $d\tau$ in der Lufttemperatur τ herrührende Fehler dh in der Höhe h einfach unter der Form dar:

$$dh = \frac{h.\alpha.d\tau}{1+\alpha.d\tau} \tag{1}$$

Es lässt sich aus dieser Formel erkennen, dass die Methode der correspondirenden Höhen für diejenigen praktischen Zwecke genügen wird, bei denen es auf grosse Genauigkeit nicht ankommt. Dieselbe wird um so mehr anwendbar sein, wenn man die Thermometer, welche zur Bestimmung der Lufttemperatur dienen sollen, möglichst hoch hängt und gegen die Bodenstrahlung thunlichst schützt und ausserdem noch beachtet, dass in unseren Zonen die günstigsten Zeiten für Anstellung barometrischer Höhenmessungen in den verschiedenen Monaten ungefähr die folgenden sind.

Im December:	Nachmittag	1^h			
,, Januar:	Mittag	12^h			
,, Februar:	Vormittag	10^h	u.	Nachmittag	4^h
,, März:	,,	8^h	,,	,,	6^h
,, April:	,,	7^h	,,	,,	7^h
,, Mai:	,,	7^h	,,	,,	7^h
,, Juni:	,,	6^h	,,	,,	9^h
,, Juli:	,,	6^h	,,	,,	9^h
,, August:	,,	7^h	,,	,,	8^h
,, September:	,,	8^h	,,	,,	6^h
,, Oktober:	,,	10^h	,,	,,	4^h
,, November:	,,	11^h	,,	,,	2^h

Man wird sich aber nicht verhehlen dürfen, dass wenn es sich darum handelt einigermaassen genaue Resultate zu erhalten, dazu selbst die Bestimmung aus correspondirenden Ablesungen nicht genügend sind.

Man darf dann aber noch nicht schliessen, dass es überhaupt geradezu unmöglich wäre auf barometrischem Wege Höhen sicher zu bestimmen.

Unter Anwendung geeigneter Rechnungsmethoden lassen sich aus Mittelzahlen längerer Reihen von Beobachtungen aus mehreren nicht zu entfernten Stationen recht genaue Resultate finden.

Wenn es Mittel gäbe die Temperatur der Luft richtig zu erhalten, so würden correspondirende Beobachtungen jedenfalls schon nahe richtige Höhen geben, da dann nur der unvermeidliche Ablesungsfehler der Barometerstände Abweichungen veranlassen würde und dieser fällt, da er bei guten Instrumenten und für gute Beobachter nur gering ist, zumal für grössere Höhen nur wenig ins Gewicht*).

Ich halte es für möglich auch auf direktem Wege Lufttemperaturen zu bestimmen und werde später, sobald die nöthigen theoretischen Voruntersuchungen beendet und ein geeigneter Beobachtungsort gefunden ist, Versuche darüber anstellen. Vor der Hand ist kein Mittel bekannt, welches für diese Zwecke geeignet scheinen könnte.

Es hat sich bekanntlich gezeigt, dass die sämmtlichen meteorologischen Elemente sehr nahe eine jährliche Periode haben, und dass Jahresmittel der wahren Lufttemperaturen sich nur wenig von denen der Thermometerangaben unterscheiden. Mit Rücksicht hierauf war es zu erwarten, dass Jahresmittel zweier meteorologischer Stationen in den meisten Fällen sehr nahe richtige Höhenunterschiede liefern würden; die Erfahrung hat dies bestätigt. Selbstverständlich müssen aber, wenn dies eintreten soll, die folgenden Bedingungen erfüllt sein:

1. Die Instrumente müssen genau und sorgfältig mit ein-

*) Auch hier ist wieder vorausgesetzt, dass die beiden Stationen einander so nahe liegen, dass Druckdifferenzen in Folge ungenügender Erfüllung der Bedingung des Gleichgewichtes der Atmosphäre nicht wohl vorkommen können.

ander verglichen und die sämmtlichen Ablesungen an beiden Stationen auf dasselbe Instrument und nach Elimination der Personalgleichungen auch auf denselben Beobachter reducirt sein.

2. Die Entfernung beider Stationen darf keine zu grosse sein, damit eine angenäherte Gleichheit der meteorologischen Phänomene an beiden Orten stattfindet.

Will man jedoch kürzere Fristen als ganze Jahre oder sogar Reihen derselben zu genauen Bestimmungen einer Anzahl von Punkten benützen, an denen regelmässige Barometer- und Thermometerbeobachtungen angestellt werden, wie das zumal bei meteorologischen Stationen häufig vorkommt, deren Seehöhe nicht durch Nivellement ermittelt werden kann, so muss ein umständlicheres Verfahren eingeschlagen werden, welches im Folgenden erläutert werden soll.

Um die zu entwickelnde Methode anwenden zu können, ist es nöthig, dass mit vollkommen übereinstimmenden Instrumenten an einer Anzahl von Punkten regelmässig und gleichzeitig mit denjenigen beobachtet wird, deren Höhe ermittelt werden soll. Ferner müssen diese Stationen möglichst gleichmässig über den Raum vertheilt sein, innerhalb dessen die zu bestimmende Station liegt und endlich müssen die geographischen Coordinaten dieser Hülfsstationen genau bekannt sein.

Um an eine bestimmte Vorstellung anzuknüpfen nehme man an, dass über ein Land eine gehörige Anzahl meteorologischer Stationen vertheilt sei, von denen die meisten durch Länge, Breite und Seehöhe zuverlässig bestimmt sind.

Von einer andern Anzahl zwischen liegender Stationen sei nur Länge und Breite, aber nicht ihre Seehöhe bekannt; diese Letztere soll ermittelt werden.

Man legt in einem solchen Falle der Rechnung Mittelwerthe aus einer grossen Anzahl correspondirender Beobachtungen zu Grunde, so dass man annehmen kann; dass eine Ausgleichung der zufälligen und lokalen kleinen Abweichungen an sämmtlichen Stationen nahezu stattgefunden habe.

Man überzeugt sich von dem Erreichen dieser Bedingung dadurch, dass man den Höhenunterschied einiger bekannter Stationen aus den Beobachtungszahlen berechnet. Nur wenn

diese Höhen mit den wahren nahe übereinstimmen, oder sie Abweichungen zeigen, welche den Höhen angenähert proportional sind, können die Zahlen benutzt werden.

Alsdann bestimmt man zuerst immer aus je zwei der vollkommen bekannten Stationen wahre Lufttemperaturen nach dem (auf Seite 73) erläuterten Verfahren auf indirektem Wege durch die Formel:

$$\tau = \frac{1}{0.00367} \cdot \left\{ \frac{h}{18400.2.(1+0.189\varphi).(1+0.0026\cos 2\psi)\left(1+\frac{2z+h}{6378150}\right)\log\frac{b'}{b''}} - 1.00157 \right\}$$

$$\text{wobei: } \varphi = \frac{\sigma'}{b'} + \frac{\sigma''}{b''}$$

und setzt voraus, dass diese für den Halbirungspunkt der Verbindungslinie beider Stationen gelten.

Es seien z. B. A' und A'' zwei solche Punkte mit der geographischen Breite und Länge φ' und φ'' und ψ' und ψ'' und den Seehöhen h' und h'', so gilt die gefundene Lufttemperatur für die entsprechenden Coordinaten

$$\varphi_{1,2} = \frac{\varphi' + \varphi''}{2}, \quad \psi_{1,2} = \frac{\psi' + \psi''}{2}, \quad h_{1,2} = \frac{h' + h''}{2}$$

Hat man also z. B. n solcher Stationen, so könnten im Allgemeinen $\frac{n(n-1)}{2}$ solcher wahrer Lufttemperaturen erhalten werden. Man wird jedoch alle Combinationen solcher Punkte weglassen, deren Höhenunterschied nicht bedeutend ist.

Mag nun die wahre Lufttemperatur τ irgend eine Function $F(\varphi, \psi, h)$ der drei geographischen Coordinaten sein, so kann man, da F immer eine stetige Function sein wird, innerhalb eines gehörig eng gewählten Convergenzraumes, sich bei Entwicklung der Function nach der Mac-Laurin'schen Reihe:

$$F(\varphi, \psi, h) \equiv A + B.\varphi + C.\psi + D.h + E.\varphi^2 + F.\varphi.\psi + G.\psi^2 + H.\psi.h + I.h^2 + K.\varphi.h + \ldots\ldots \tag{3}$$

mit den ersten Gliedern begnügen und annehmen:

$$\tau \equiv F(\varphi, \psi, h) \equiv A + B.\varphi + C.\psi + D.h \tag{4}$$

Man wird in einer ersten Annäherung die isothermischen Flächen der Atmosphäre also als Ebenen ansehen.

Da die wahre Lufttemperatur von der zufälligen Beschaffenheit und Configuration des Bodens ziemlich unabhängig



ist, und der einzige Fall der untersucht worden, erkennen liess, dass die Lufttemperatur in den unteren Schichten der Atmosphäre wahrscheinlich sehr nahe proportional der Höhe abnimmt, so wird sich diese Annahme sehr wenig von der Wahrheit entfernen.

Setzt man in diese Formel die Werthe der wahren Lufttemperatur ein, so bekommt man zur Bestimmung der vier Constanten A, B, C, D eine grössere Anzahl (m) von Gleichungen als Unbekannte vorhanden sind.

Zur Ermittelung der wahrscheinlichsten Werthe der vier Constanten bedient man sich der Methode der kleinsten Quadrate.

Bezeichnet man die Abweichung des an einem Punkte wirklich gefundenen Werthes der wahren Lufttemperatur von derjenigen, welche unter Zugrundelegung der angewendeten Formel daselbst stattfinden müsste mit v_i, und nennt das Maass der Genauigkeit derselben k_i, so muss bekanntlich nach der Methode der kleinsten Quadrate:

$$S = \sum_1^m {}_i \; v_i^2 \, k_i^2 \qquad 5)$$

ein Minimum sein.

Nun ist:

$$v_i = A + B.\varphi_i + C.\psi_i + D.h_i - \tau_i \qquad 6)$$

folglich:

$$S = \sum_1^m {}_i \, (A + B.\varphi_i + C.\psi_i + D.h_i - \tau_i)^2 . \, k_i^2 \qquad 7)$$

Soll S ein Minimum werden, so müssen A, B, C, D, folgendes System simultaner Differenzialgleichungen erfüllen:

$$\frac{\partial S}{\partial A} = o \quad 8) \qquad \frac{\partial S}{\partial B} = o \quad 10) \qquad \frac{\partial S}{\partial C} = o \quad 11) \qquad \frac{\partial S}{\partial D} = o \quad 12)$$

Wenn man hierin für S seinen Werth einsetzt, so lautet die erste dieser vier Gleichungen:

$$\sum_1^m {}_i \, (A + B.\varphi_i + C.\psi_i + D.h_i - \tau_i) \, k_i^2 = o$$

oder:

$$o = A.\sum_1^m {}_i \, k_i^2 + B.\sum_1^m {}_i \, \varphi_i . k_i^2 + C.\sum_1^m {}_i \, \psi_i . k_i^2 - D.\sum_1^m {}_i \, \tau_i . k_i^2$$

Führt man zur Abkürzung (nach GAUSS) die Bezeichnungen ein:

$$\sum_1^m p_l . q_l = [p . q]$$

und setzt ferner:

$$\varphi_l k_l = a_l \quad \psi_l k_l = b_l \quad h_l k_l = c_l \quad \tau_l k_l = d_l$$

so nehmen die vier Gleichungen die Form an:

$$A.[k.k] + B.[a.k] + C.[b.k] + D.[c.k] - [d.k] = o \qquad 13)$$

$$A.[a.k] + B.[a.a] + C.[a.b] + D.[a.c] - [a.d] = o \qquad 14)$$

$$A.[b.k] + B.[a.b] + C.[b.b] + D.[b.c] - [b.d] = o \qquad 15)$$

$$A.[c.k] + B.[a.c] + C.[b.c] + D.[c.c] - [c.d] = o \qquad 16)$$

Aus diesen vier Gleichungen ist nun $A, B, C, D,$ zu bestimmen, und dazu dient am einfachsten das nachfolgende Schema.

Zuerst bildet man die Grössen $[dd]$, $[dk]$ etc.; für welche hier der Kürze wegen dd, dk etc. ohne Klammern geschrieben ist. Hierauf schreibt man dieselben alle in eine Reihe in der angedeuteten Weise; sucht die Logarithmen von dk, kk ..... kc und schreibt dieselbe unter die Zahlen. Dann bildet man durch Subtraction von kk die darunter stehenden Differenzen: $\log \frac{dk}{kk}$, $\log \frac{ak}{kk}$, $\log \frac{bb}{kk}$ und $\log \frac{kc}{kk}$. Zur Grösse $\log \frac{ak}{kk}$ addirt man nun $\log dk$, $\log ka$, $\log kb$, $\log kc$ und bildet dadurch, indem man die Zahlen zu diesen Logarithmensummen aufschlägt, die zweite Zeile der nächsten Colume. Diese subtrahirt man alsdann von den darüber stehenden Werthen $ad, \ldots cc$ und erhält auf diese Weise die Grössen $ad_1, \ldots cc_1$. In dieser Weise fährt man nun fort, wie dies das Schema ohne Weiteres zeigt. Die Klammern bedeuten jedesmal, dass die in derselben befindlichen Werthe addirt werden sollen.

Die Rechnung selbst führt man mit sechsstelligen Logarithmen aus.

Um die Richtigkeit der Rechnung zu controlliren führt man die Rechnung zweimal aus, indem man die Ordnung der Coëfficienten umkehrt, diesselbe schreibt wie folgt:

cc, cd, bc, ac, kc; bd, bb, ab, kb; ad, aa, ka; kd; kk

und die Rechnung wiederholt.

Schema zur Berechnung der Constanten A, B, C, D.

dd	dk	kk	ka	kb	kc	ad	aa	ab	ac	bd	bb	bc	cd	cc
$-kd.\frac{kk}{kd}$ $-ad_1.\frac{ad_1}{aa_1}$ $-bd_2.\frac{bd_2}{bb_2}$ $-cd_3.\frac{cd_3}{cc_3}$ $=dd_4$	$\log dk$ $\log \frac{dk}{kk}$ $-\frac{dk}{kk}$ $-B.\frac{ak}{kk}$ $-C.\frac{bk}{kk}$ $-D.\frac{ck}{kk}$ $=A$	$\log kk$	$\log ka$ $\log \frac{ak}{kk}$ $\log B$	$\log kb$ $\log \frac{kb}{kk}$ $\log C$	$\log kc$ $\log \frac{kc}{kk}$ $\log D$	$-dk.\frac{ka}{kk}$ ad_1 $\log ad_1$ $\log \frac{ad_1}{aa_1}$ $\frac{ad_1}{aa_1}$ $-C.\frac{ab_1}{aa_1}$ $-D.\frac{ac_1}{aa_1}$ $=B$	$-ka.\frac{ka}{kk}$ aa_1 $\log aa_4$	$-bk.\frac{ka}{kk}$ ab_1 $\log ab_1$ $\log \frac{ab_1}{aa_1}$ $\log C$	$-ck.\frac{ka}{kk}$ ac_1 $\log ac_1$ $\log \frac{ac_1}{aa_1}$ $\log D$	$-dk.\frac{kb}{kk}$ bd_1 $-ad_1.\frac{ab_1}{aa_1}$ bd_2 $\log bd_2$ $\log \frac{bd_2}{bb_2}$ $\frac{bd_2}{bb_2}$ $-D.\frac{bc_2}{bb_2}$ $=C$	$-bk.\frac{kb}{kk}$ bb_1 $-ab_1.\frac{ab_1}{aa_1}$ bb_1 $\log bb_2$	$-ck.\frac{kb}{kk}$ bc_1 $-ac_1.\frac{ab_1}{aa_1}$ bc_2 $\log bc_2$ $\log \frac{bc_1}{bb_2}$ $\log D$	$-kd.\frac{kc}{kk}$ cd_1 $-ad_1.\frac{ac_1}{aa_1}$ cd_2 $-bd_1.\frac{bc_2}{bb_2}$ cd_3 $\log cd_3$ $\log \frac{cd_3}{cc_3}$ $-\frac{cd_3}{cc_3}=D$	$-kc.\frac{kc}{kk}$ cc_1 $-ac_1.\frac{ac_1}{aa_1}$ cc_2 $-bc_2.\frac{bc_2}{bb_2}$ cc_3 $\log cc_3$

Wenn mehrere Grössen $ab_1 \ldots\ldots bc_1$ oder $bd_2 \ldots\ldots cc_2$ oder $cd_3 \ldots\ldots cc_3$ nahe Null werden, so stimmen die letzten Decimalen zwar nicht mehr vollkommen, man muss aber doch sehr nahe bei beiden Rechnungen dieselben Coëfficienten erhalten.

Die Grösse k_i, welche zur Bestimmung der Gewichte dient, findet man am besten auf folgende Weise.

Bekanntlich wurde die Lufttemperatur τ aus den Beobachtungen zwischen je zwei Stationen mit Hülfe der Gleichung 2) gefunden. Es ergiebt sich als wahrscheinlicher Fehler der Lufttemperatur:

$$d\tau = \frac{M.(1+\alpha\tau)}{\alpha.(\log b' - \log b'')} \cdot \left\{ \frac{db'}{b'} + \frac{db''}{b''} \right\} \qquad 17)$$

In dieser Gleichung muss für db' und db'' derjenige wahrscheinliche Fehler in der Ablesung des Barometers eingesetzt werden, den man dem betreffenden zu b' und b'' gehörigen Beobachter je nach seiner intellectuellen, moralischen und physischen Beschaffenheit zuzuertheilen hat. Als dann ist:

$$k_i = \frac{K}{d\tau_i} \qquad 18)$$

wenn man mit K eine beliebige Constante bezeichnet, die man je nach der Bequemlichkeit der Rechnung willkührlich wählen kann.

Man darf die einzelnen Beobachtungen nicht als von gleicher Genauigkeit annehmen, d. h. k_i an allen Punkten gleich setzen, da nach der eben entwickelten Formel gleichen Fehlern db' und bd'' bei verschiedenen Höhendifferenzen sehr verschiedene Fehler in der Temperaturbestimmung entsprechen. —

Sind nun auf die angegebene Weise die wahrscheinlichsten Werthe der Constanten A, B, C, D bestimmt, so ist damit die Formel 4);

$$\tau = A + B.\varphi + C.\psi + D.h$$

vollkommen gegeben. Man kann, wenn die Coordinaten irgend eines Punktes des Raumes eingesetzt worden, für welchen die Formel gilt, für diesen die Lufttemperatur berechnen. Auf diese Weise kann also der Zustand der Lufttemperatur über weitere Strecken hin verfolgt werden.

Um die Gewichte dieser Resultate zu erhalten verfährt man folgendermaassen. Um das Gewicht von A zu erhalten führt man die Elimnationsrechnung nochmals aus nach vorstehendem Schema, unter Annahme:

$$(dk) = -1 \quad (ad) = (bd) = (cd) = o$$

Wird der so erhaltene Werth von A jetzt $\mathfrak{a}$ genannt, so ist das Gewicht α der Constant A gleich $\frac{1}{\mathfrak{a}}$.

Um das Gewicht β von B zu erhalten beginnt man die Rechnung erst in der zweiten Zeile und setzt:

$$(ad_1) = -1 \quad (bd_1) = (cd_1) = o$$

Um das Gewicht γ von C zu finden, fängt man die Rechnung erst in der dritten Zeile an und setzt:

$$(bd_2) = -1 \quad (cd_2) = o$$

Um das Gewicht von D zu finden fängt man erst in der vierten Zeile an und setzt $cd_3 = -1$.

Sind analog die so erhaltenen Werthe der Constanten gleich: $\mathfrak{b}$ $\mathfrak{c}$ $\mathfrak{d}$, so sind die Gewichte:

$$\beta = \frac{1}{\mathfrak{b}} \qquad \gamma = \frac{1}{\mathfrak{c}} \qquad \delta = \frac{1}{\mathfrak{d}}$$

Ist nun m die Zahl der Bedingungsgleichungen, so sind die wahrscheinlichen Fehler $\mathfrak{A}$, $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{C}$, $\mathfrak{D}$ der vier Unbekannten: A, B, C, D alsdann:

$$\mathfrak{A} = 0.6745. \sqrt{\frac{dd_4}{(m-4).\alpha}}$$

$$\mathfrak{B} = 0.6745. \sqrt{\frac{dd_4}{(m-4).\beta}}$$

$$\mathfrak{C} = 0.6745. \sqrt{\frac{dd_4}{(m-4).\gamma}}$$

$$\mathfrak{D} = 0.6745. \sqrt{\frac{dd_4}{(m-4).\delta}}$$

Demnach lässt sich auch der wahrscheinliche Fehler jedes berechneten Werthes x bestimmen.

Um nun die Höhe einiger zwischen liegender Stationen zu finden, was der eigentliche Zweck dieser Untersuchung

war, führt man für φ, ψ und h das arithmetische Mittel derjenigen Coordinaten ein, welche den Orten entsprechen, deren Höhenunterschied bestimmt werden soll.

Hierbei setzt sich h aus der bekannten Seehöhe h' der einen und aus der unbekannten h'' der anderen Station zusammen. Man setzt daher zunächst für h'' einen angenäherten Werth H, welchen man findet, wenn unter Einsetzung der an den Thermometern abgelesenen Temperaturen die Höhe barometrisch bestimmt wird, und berechnet hierdurch einen Annäherungswerth τ. Mit diesem rechnet man nun nach Formel 41), Seite 44 eine genauere Höhe H'. Durch diese bestimmt man, indem jetzt $\frac{h'+H'}{2}$ eingeführt wird, eine neue Lufttemperatur, mit dieser eine noch sicherere Höhe H'' und fährt so fort, bis bei einer neuen Bestimmung von H keine wesentliche Verbesserung mehr gefunden wird.

Da man die angenäherte Seehöhe schon immer ziemlich sicher kennen wird, und auch die Änderung der Temperatur mit der Höhe nicht so rasch vor sich geht, so wird es für gewöhnlich dieser Annäherungsrechnungen kaum bedürfen, oder höchstens der Controlle wegen die Rechnung nur einmal zu wiederholen sein.

Auf diese hier angedeutete Weise wird man im Stande sein mit ziemlicher Schärfe aus einer Anzahl gegebener Stationen die Höhe einer anderen zu bestimmen, wenn allen Bedingungen und Voraussetzungen der Methode in ausreichender Weise genügt ist*).

Dieses Verfahren ist, wie noch beiläufig erwähnt werden soll, einer Anwendung auf eine Frage fähig, welche in der Meteorologie ebenfalls von Bedeutung ist.

---

*) Leider sind mir nicht Beobachtungsresultate eines Systemes meteorologischer Stationen zugänglich gewesen, welche den Bedingungen der Methode genügt hätten; so dass es leider unmöglich war ein Zahlenbeispiel hinzuzufügen. Entweder fehlte es an genauen Höhenbestimmungen für eine gehörige Anzahl bekannter Stationen oder, und das schien mir meistentheils der Fall zu sein, es waren die Instrumentalfehler nicht mit der hierzu nöthigen Sorgfalt in den Schlussresultaten elimnirt.

Kann nämlich auf die angegebene Weise die Vertheilung der Lufttemperatur über einen grösseren Raum richtig bestimmt werden, so ist man mit Hülfe derselben auch im Stande die sämmtlichen Barometermittel, welche der Rechnung zu Grunde liegen, auf dasselbe Niveau zu reduciren, wenn dieses gemeinschaftliche Niveau innerhalb der Grenzen liegt, für welche die Gültigkeit der Function F angenommen werden darf.

Es dient hierzu eine einfache Umgestaltung der gebräuchlichen barometrischen Höhenformel. Dieselbe lautet bekanntlich in abgekürzter Form, wenn man die geringfügigen Correctionen wegen der Veränderung der Schwere vernachlässigt:

$$h = [K . (1 + \alpha\tau)] . (\log B - \log b) . (1 + c\varphi) \qquad 19)$$

Daraus findet man:

$$\log B = \frac{h}{[K . (1 + \alpha . \tau)] . (1 + c . \varphi)} + \log b \qquad 20)$$

Hierin hat man für τ denjenigen Werth der wahren Lufttemperatur einzuführen, welcher für die Länge und Breite des Orts der halben Höhe entspricht, welche zwischen dem derzeitigen Niveau und demjenigen liegt, auf welches der Barometerstand reducirt werden soll.

Für h hat man positiv oder negativ diejenige Höhe zu setzen, um welche das neue Niveau unter oder über dem alten liegt. Der Werth $K . (1 + \alpha\tau)$ ist eingeklammert um anzudeuten, dass dies der den Tafeln zu entnehmende Werth des von der Temperatur abhängigen Gliedes A_τ

$$A_\tau = K (1 + \alpha\tau) = 18400.2 (1.00157 + 0.000367 \tau)$$

ist.

$1 + c . \varphi$ ist derjenige Factor durch den die Correction wegen des Wasserdampfgehaltes der Atmosphäre vorgenommen wird.

$$1 + c . \varphi = 1 + 0.378 . \frac{\frac{\Sigma}{B} + \frac{\sigma}{b}}{2}$$

wenn Σ und σ die an der unteren und oberen Station stattfindenden Dampfdrücke bedeuten.

Ohne Kenntniss der wahren Lufttemperatur war dieses Problem früher vollkommen unlösbar.

Ebenfalls nur andeutungsweise soll ferner erwähnt werden, dass man mit Hülfe zweier in horizontaler Richtung möglichst nahe und in vertikaler Richtung möglichst entfernt liegender Stationen im Stande ist aus gehörig genauen Beobachtungen fortlaufend die mittlere Temperatur des zwischen beiden Punkten liegenden Luftgewichtes zu bestimmen. Zwei meteorologische Stationen von denen die eine auf einem hohen Berge und die andere möglichst in der Nähe im Thale liegt, deren Höhenunterschied genau bekannt ist, können also dazu dienen die Temperatur des Windes zu bestimmen, welcher gerade zwischen beiden Punkten weht.

Jedenfalls würde man dadurch über ein sehr wesentliches meteorologisches Moment interessante Aufschlüsse erhalten.

VII.

Ueber die Ausführung barometrischer Höhenmessungen und deren Berechnung.

In wenigen Zweigen der angewandten Physik sind die Ansichten über den Werth des ganzen Verfahrens von jeher so getheilt gewesen, als wie gerade bei den barometrischen Höhenmessungen. Viele schrieben denselben noch vor Kurzem sehr grosse Genauigkeit zu, indem sie etwaige Abweichungen entweder vernachlässigten oder den trigonometrischen Bestimmungen zur Last legten.

Andere Forscher, welche sich auf die enormen Unterschiede stützten, die verschiedene barometrische Bestimmungen derselben Höhe gezeigt haben, hielten diese ganze Methode für unzulässig, oder wollten ihr doch nur einen höchst untergeordneten Werth einräumen. Die Wenigen aber, denen nicht nur grössere Summen eigener Erfahrungen zu Gebote standen, sondern die auch mit kritischem Auge die Resultate Anderer beachtet hatten, bemüht gewesen waren sich über die Voraussetzungen der theoretischen Grundlage und deren jeweilige Erfüllung klar zu werden, kamen von jeher nahezu in der vermittelnden Ansicht zusammen, dass einzelnen Beobachtungen, zumal wenn dieselben nicht auf gleichzeitige Ablesungen an beiden Punkten gestützt sind, so gut wie gar kein Werth für erträglich genaue Bestimmungen beizumessen sei, dass hingegen aus grösseren Reihen correspondirender Beobachtungen,

nach Ausscheidung solcher Fälle, in denen eine Nichterfüllung der vorausgesetzten Umstände ohne Weiteres angenommen werden muss, eine Genauigkeit erreicht werden kann, welche für die meisten praktischen Zwecke des Meteorologen, Geographen und des Militärs etc. genügend ist.

Jedenfalls musste man von jeher dieser Methode den wesentlichen Vorzug zugestehen, dass sie durch die Einfachheit der zu ihrer Anwendung nöthigen Instrumente und Beobachtungen vor allen anderen Höhenmessmethoden ausgezeichnet sei.

Abgesehen davon, dass die barometrischen Höhenmessungen für unsere Kenntnisse von der Constitution der Atmosphäre einen besonderen Werth besitzen, werden sie auch ferner noch einen, wenn auch ziemlich beschränkten Platz unter den Methoden zur Bestimmung der verticalen Coordinaten auf unserer Erde beibehalten.

Man kann sich nicht verhehlen, dass die Unsicherheit in der Berücksichtigung der Strahlenbrechnung in der Atmosphäre und die Einflüsse localer Ablenkungen des Lothes die trigonometrischen Höhenmessungen und die Nivellments mit der Latte ebenfalls als ziemlich mangelhaft erscheinen lassen, wenn man die Sicherheit dieser Methoden mit der Genauigkeit unserer Horizontalmessungen, Zeit- und Gewichtsbestimmungen vergleicht. —

Um ein Urtheil über den Einfluss der Fehler zu erhalten, welche bei den einzelnen Bestimmungen für barometrische Höhenbestimmungen begangen werden, geht man am Besten aus von einer abgekürzten Formel, in welcher man die geringfügigen Correctionen wegen der Veränderlichkeit der Schwere nach der Höhe und Breite unberücksichtigt lässt. Dieselbe lautet:

$$h = K.(1 + \alpha\tau).\left\{1 + c.\left(\frac{\sigma'}{b'} + \frac{\sigma''}{b''}\right)\right\}.\log\frac{b'}{b''} \qquad 1)$$

Wenn man diese Formel zunächst logarithmirt, so nimmt dieselbe folgende Gestalt an:

$$\log h = \log K + \log(1 + \alpha\tau) + \log\left\{1 + c\left(\frac{\sigma'}{b'} + \frac{\sigma''}{b''}\right)\right\} + \\ + \log(\log b' - \log b'') \qquad 2)$$

Nun ist ferner:

$$d\,(\log h) = \frac{\partial \log h}{\partial \tau} \,.\, d\tau + \frac{\partial \log h'}{\partial \sigma'} \,.\, d\sigma' + \frac{\partial \log h}{\partial \sigma''} \,.\, d\sigma'' + \frac{\partial \log h}{\partial b'} \,.\, db' + $$
$$+ \frac{\partial \log h}{\partial b''} \,.\, db'' \qquad 3)$$

und ausgeführt:

$$\frac{dh}{h} = \frac{\alpha \,.\, d\tau}{1+\alpha\tau} + \frac{\frac{c}{b'} \,.\, d\sigma'}{1+c.\left(\frac{\sigma'}{b'}+\frac{\sigma''}{b''}\right)} + \frac{\frac{c}{b''} \,.\, d\sigma''}{1+c.\left(\frac{\sigma'}{b'}+\frac{\sigma''}{b''}\right)} - \left\{ \frac{\frac{c.\sigma''}{b'^2}}{1+c.\left(\frac{\sigma'}{b'}+\frac{\sigma''}{b''}\right)} - \right.$$
$$\left. - \frac{M.\frac{1}{b'}}{\log b' - \log b''} \right\} . \, db' - \left\{ \frac{\frac{c.\sigma''}{b'^2}}{1+c.\left(\frac{\sigma'}{b'}+\frac{\sigma''}{b''}\right)} - \frac{M.\frac{1}{b''}}{\log b' - \log b''} \right\} . \, db'' \qquad 4)$$

In dieser allgemeinen Formel können jedoch die ersten Theile der 4. und 5. Glieder, welche die Fehler in dem Correctionsglied wegen der Luftfeuchtigkeit vorstellen, die von der Einführnng falscher Barometerstände herrühren, weggelassen werden. Dieselben sind im Vergleich zu den übrigen Grössen ziemlich klein.

Man erhält alsdann folgende Formel:

$$dh = \frac{h.\alpha}{1+\alpha\tau} . d\tau + \frac{\frac{h.c}{b'} . d\sigma' + \frac{h.c}{b''} . d\sigma''}{1+c.\left(\frac{\sigma'}{b'}+\frac{\sigma''}{b''}\right)} + \frac{h.\,M.\,\frac{db'}{b'}}{\log b' - \log b''} - \frac{h.\,M.\,\frac{db''}{b''}}{\log b' - \log b''} \qquad 5)$$

Aus dieser Formel bestimmt sich jederzeit die Grösse des entstehenden Gesammtfehlers, wenn für b, τ, σ ihre Werthe und für db, $d\tau$, $d\sigma$ die Werthe der einzelnen Fehler in Barometerständen, Temperaturen und Dampfdrücken nach Grösse und Vorzeichen eingesetzt werden.

Der Theil des Gesammtfehlers dh, welcher von den Fehlern in der Ablesung der Barometer herrührt, lässt sich noch einfacher darstellen. Berücksichtigt man nämlich, dass mit hier genügender Annäherung gesetzt werden kann:

$$b' = A.e^{-\frac{h'}{7991.1}} \qquad 6)$$

wo A der Luftdruck auf der Meeresfläche und h' die Höhe der Station über dem Meere ist, so erhält man:

$$\frac{b'}{b''} = e^{+\frac{h''-h'}{7991.1}} \qquad 6)$$

oder:
$$\log\frac{b'}{b''}=\frac{(h''-h').M}{7991.1}=\frac{h.M}{7991.1} \qquad 7)$$

wenn h den Höhenunterschied beider Stationen bedeutet. Führt man dies ein in:

$$\frac{\partial h}{\partial b'}\,.\,db'=\frac{h.M.\frac{db'}{b'}}{\log b'-\log b''} \qquad 8)$$

so ergiebt sich:

$$\frac{\partial h}{\partial b'}\,.\,db'=7991.1\times\frac{db'}{b'} \qquad 9)$$

und in gleicher Weise:

$$\frac{\partial h}{\partial b''}\,.\,db''=7991.1\times\frac{db''}{b''} \qquad 10)$$

Es folgt hieraus, dass der vom Barometerstande herrühende Fehler von der Höhe unabhängig und dem herrschenden Drucke proportional ist.

Begeht man also einen Fehler von K Millimetern so ist der entstehende Fehler gleich $K.I.$, I aber hat für verschiedene Drücke Werthe, welche man aus folgender Tabelle ersehen kann:

B mm	I_B met	
800	9.99	Fehler in der Bestimmung der Höhe, herrührend von 1mm Fehler im Barometerstand.
700	11.42	
600	13.32	
500	15.99	
400	19.98	

Steht also das untere Barometer auf 760mm und das obere auf 500mm, und werden an beiden Stationen bei Ablesung der Barometer Fehler von 0.5mm nach entgegengesetzten Seiten begangen, so ist der entstehende Fehler:

$$5.3^{\text{met}}+8.0^{\text{met}}=13.3^{\text{met}}$$

Ebenso leicht lässt sich derjenige Theil der Fehler übersehen, welcher von Fehlern in der Lufttemperatur herrührt, derselbe ist:

$$\frac{\partial h}{\partial \tau}\,.\,d\tau=\frac{h.\alpha}{1+\alpha.\tau}\,.\,d\tau \qquad 11)$$

Nimmt man $d\tau = \pm K^0$ an, so ist der entstehende Fehler $\pm K.L$ und der Werth L kann aus folgender Tabelle erhalten werden:

	$h=0$	$h=1000^{met}$	$h=5000^{met}$	
	L	L	L	
$2\tau = -50$	0	4.00	20.0	Fehler in der Bestimmung der Höhe, herrührend von 1°C. Fehler in der eingeführten mittleren Lufttemperatur.
-25	0	3.83	19.2	
0	0	3.67	18.3	
$+25$	0	3.36	16.8	
$+50$	0	3.10	15.5	

Aus Formel 11) folgt, dass der von fehlerhaften Lufttemperaturen herrühende procentische Fehler der Höhe von der Grösse derselben unabhängig, der absolute Fehler aber der Höhe proportional ist.

Wenn barometrische Höhenmessungen ausgeführt werden sollen, so ist es eine weitere Bedingung, dass die dazu benutzten Instrumente genau verglichen und justirt sind. Da man sonst constante Fehler in die Beobachtungen hineinbringt, welche selbst durch Vervielfachung der letzteren und verschiedenartige Combination derselben nicht elimnirt werden können.

Im Allgemeinen bedarf man, abgesehen von den nöthigen Befestigungsmitteln, zu Höhenbestimmungen an jeder Station nur ein Barometer und ein Psychrometer.

Die beiden Barometer vergleicht man am besten direct mit einander an beiden Stationen oder durch ein Hilfsinstrument von mindestens gleicher Genauigkeit.

Alle Ablesungen müssen selbstverständlich mit der nöthigen Vorsicht vorgenommen werden, ganz besonders aber ist dies bei der Vergleichung zweier Instrumente nöthig.

Wenn ein Barometer abgelesen werden soll, muss immer Folgendes beachtet werden:

1. Ehe der Barometerstand bestimmt wird, liest man stets zuvor die Temperatur des Quecksilbers an dem mit dem Barometer fest verbundenen Thermometer ab.

2. Man klopft ein wenig am Instrument um etwaige Reibung der Quecksilbersäule am Glase leichter überwinden zu helfen.

3. Das Ablesen muss so rasch geschehen, dass durch die

Wärmestrahlung des angenäherten Körpers noch keine Temperaturänderung hervorgebracht wird.

4. Bei Vergleichung zweier Instrumente hat man nach der Regel zu verfahren, dass die Stände an beiden Barometern stets in der Reihenfolge

$$A \quad B \quad B \quad A$$

und zwar so abgelesen werden, dass immer zwischen je zwei Ablesungen ein möglichst gleicher Zeitraum liegt. Es muss dies geschehen, um den etwaigen Einfluss rascher Änderungen des Barometerstandes zu elimniren, durch welchen sonst falsche Resultate erhalten würden. Das arithmetische Mittel der Abweichungen einer möglichst grossen Anzahl solcher Beobachtungen sieht man dann als die Differenz der beiden Instrumente an und nimmt an, dass dieselbe für den betreffenden mittleren Barometerstand gelte.

5. Dieselbe Operation muss für verschiedene Theile der Scala wiederholt werden, d. h. man muss die Abweichungen für verschiedene Barometerstände ermitteln; die Differenzen sind nämlich meist an verschiedenen Stellen der Scala verschieden. Mit diesen Abweichungen sind die abgelesenen Barometerstände stets vor ihrer Verwendung zu corrigiren. Solche Vergleichungen und Correctionen müssen stets stattfinden, wenn man die Ablesungen zu barometrischen Höhenmessungen oder ähnlichen Operationen verwenden will, da man fast nie zwei Barometer findet, welche vollkommen übereinstimmende Angaben zeigen und bei verschiedenen Ständen gleiche Angaben oder nur gleiche Differenzen behalten.

Ausserdem sind für jedes Barometer noch zwei Grössen zu bestimmen, deren man bedarf, um den abgelesenen Stand auf den wahren zurückzuführen.

Es muss nämlich corrigirt werden wegen der Capillardepression.

Diese Correction ist

$$\gamma = c - c'$$

wenn c die an dem geschlossenen und c' die an dem freien Ende der Quecksilbersäule stattfindende Grösse der Capillardepression bedeutet.

Man findet diese Grössen für mittlere und kleinere Röhrenweiten aus nachfolgender von Delcros (in Pogg. Ann. Bd. 60, Seite 377) gegebenen Tabelle:

Tabelle XV.

Grösse der Capillardepression in Millimetern.

Halbmesser der Röhre in mm.	Höhe des Meniskus in Millimetern.								
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
3.0	0.24	0.48	0.70	0.90	1.07	1.21	1.32		
3.2	0.21	0.41	0.60	0.78	0.93	1.06	1.16	1.24	
3.4	0.18	0.36	0.52	0.68	0.81	0.93	1.02	1.10	
3.6	0.16	0.31	0.46	0.59	0.71	0.81	0.90	0.97	
3.8	0.14	0.27	0.40	0.52	0.67	0.72	0.80	0.86	
4.0	0.12	0.24	0.35	0.45	0.55	0.63	0.71	0.77	
4.2	0.11	0.21	0.31	0.40	0.49	0.56	0.63	0.68	
4.4	0.09	0.19	0.27	0.36	0.43	0.50	0.56	0.61	
4.6	0.08	0.16	0.24	0.32	0.38	0.45	0.50	0.54	
4.8	0.07	0.15	0.22	0.28	0.34	0.40	0.45	0.49	
5.0	0.06	0.13	0.19	0.25	0.31	0.35	0.40	0.44	
5.2	0.06	0.12	0.17	0.22	0.27	0.32	0.36	0.39	0.42
5.4	0.05	0.10	0.15	0.20	0.24	0.28	0.32	0.35	0.38
5.6	0.05	0.09	0.14	0.18	0.22	0.25	0.29	0.31	0.34
5.8	0.04	0.08	0.12	0.16	0.20	0.23	0.26	0.28	0.30
6.0	0.04	0.07	0.11	0.14	0.18	0.21	0.23	0.25	0.27
6.2	0.03	0.07	0.10	0.13	0.16	0.19	0.21	0.23	0.25
6.4	0.03	0.06	0.09	0.12	0.14	0.17	0.19	0.21	0.22
6.6	0.03	0.05	0.08	0.10	0.13	0.15	0.17	0.19	0.20
6.8	0.02	0.05	0.07	0.10	0.12	0.14	0.15	0.17	0.18
7.0	0.02	0.04	0.07	0.09	0.11	0.12	0.14	0.15	0.16

Für grössere Durchmesser fehlen die Zahlen.

Ferner muss eine additive Correction angebracht werden wegen der Verminderung des Barometerstandes durch den Druck der im sogenannten Vacuum oder der Torricelli'schen Leere enthaltenen Luft oder elastischen Flüssigkeit.

Der Werth dieser Correction, deren Grösse wir mit β bezeichnen wollen, kann auf folgende Weise bestimmt werden.

Zunächst wird das Volumen v' des Vacuum bei einem Stande b' bestimmt, und zwar, entweder dadurch, dass man solange Quecksilber nachfüllt bis die Säule im geschlossenen Ende des Barometers oben anstösst, und dann diejenige Menge Quecksilber ermittelt, welche zur Ausfüllung des Vacuum nöthig war, oder, da die Barometerröhren meist nahe vollkommen

cylindrische Gestalt haben, dadurch, dass man durch Messung die Dimensionen des Vacuum bestimmt und daraus das Volumen desselben berechnet. Dann füllt man in den offenen Schenkel des Barometers Quecksilber nach oder nimmt Quecksilber weg, so dass das Volumen des Vacuum in ein anderes v'' übergeht. Befindet sich Luft im Vacuum, so wird ein anderer Stand b'' abgelesen.

Der Barometerstand und die Temperatur sollen während dieser Operationen gleich bleiben, oder es müssen, wenn dies nicht der Fall ist, ihre Veränderungen durch Hilfsinstrumente bestimmt werden.

Bezeichnet nun b den wahren Barometerstand und wird die Grösse $b - b^{(i)} = \beta_i$ gesetzt, so muss da das Mariotte'sche Gesetz gilt:

$$b - b' : b - b'' = v'' : v' \qquad 12)$$

Hieraus findet man:

$$b'' - b' : b - b'' = v'' - v' : v' \qquad 13)$$

und daraus:

$$\beta'' = \frac{(b'' - b').v'}{v'' - v'} \qquad 14)$$

Hieraus kann die Depression für jedes Volumen und jeden Barometerstand gefunden werden.

Die Volumina $v^{(i)}$ werden am besten ausgedrückt in der Höhe von Cylindern, welche den Durchmesser der geschlossenen Barometerröhre besitzen. Nun gilt β'' bei einem Stand $b'' + \beta''$ und einem Volumen des Vacuum v''. Während der Zeit der Bestimmung von β'' soll eine Temperatur t stattgefunden haben. Geht das Volumen in V, die Temperatur in T über, so ist die Correction β für diesen Fall;

$$\beta = \frac{\beta'' . v''}{V} . \{1 + \alpha (T - t)\} \qquad 15)$$

Ist v'' auf die angegebene Weise durch die Höhe eines Cylinders von der Weite der Barometerröhre ausgedrückt, und findet v'' statt bei einem Stande b'', so ist, wenn die Quecksilbermenge im Barometer nicht geändert worden, bei einem Stande B

$$V = v'' + \frac{b'' - B}{2} \tag{16}$$

mithin:

$$\beta = \frac{\beta'' . v'' . \{1 + \alpha (T - t)\}}{v'' + \frac{b'' - B}{2}} \tag{17}$$

Sind alle diese Verbesserungen an den Barometerständen angebracht, so muss der erhaltene Stand auf Null Grad oder gemeinschaftliche Temperatur reducirt werden.

Diese Correction bringt man am Besten vor Beginn der Rechnung an, wenn nicht, so hat man später zu $\log \frac{b'}{b''}$ $\log \left(1 - \frac{t' - t''}{5550}\right)$ hinzuzufügen, einen Werth den man aus Tabelle V der hypsometrischen Tafeln finden kann.

In ähnlicher, wenn auch weniger mühsamer Weise sind die Thermometer zu untersuchen. Zunächst müssen dieselben calibrirt und die festen Punkte bestimmt werden, oder da die zu Luftthermometern benutzten Instrumente meist nicht Scalen besitzen, welche bis zum Siedepunkte reichen, so sind dieselben mit Normalthermometern zu vergleichen.

Selbstverständlich müssen die Barometer mit den gehörigen Hülfsapparaten versehen sein, z. B. muss die Einstellung auf die Kuppe der Quecksilbersäule durch eine Lupe mit Fadenkreuz geschehen. Der Nonius muss 0.05 Millimeter noch mit Sicherheit ablesen lassen.

Die Thermometer müssen in $^1/_5$ Grade getheilt sein und werden am Besten aus der Ferne mit dem Fernrohre abgelesen.

Mit den gehörig vorbereiteten Instrumenten kann man an die Ausführung der Beobachtungen selbst gehen. —

Was zunächst die Aufstellung der Instrumente an den Stationen betrifft, so muss das Barometer so aufgehängt werden, dass seine Scala möglichst vertical hängt. Es lässt sich dies durch Vergleich mit einem Lothe immer leicht herstellen. Ferner muss es sich an einem Orte befinden, an welchem es nicht nur vor Sonnenstrahlen, sondern auch vor starken Temperaturänderungen überhaupt geschützt ist. Ehe man an einem Orte mit Beobachtungen beginnen kann, muss das Instrument vollkommen auf die Temperatur der Umgebung gekommen sein.

8*

Wenn die Angaben der Thermometer einigermassen richtig sein sollen, so müssen diese Instrumente möglichst hoch über dem Erdboden und möglichst fern von Wänden und allen Gegenständen aufgehangen werden, deren Strahlung Einfluss haben könnte.

Die Zeiten für correspondirende Beobachtungen sind in den verschiedenen Monaten so zu wählen, dass man thunlichst wahre Werthe zu erwarten hat. Man thut am Besten dann in Abständen von 10 zu 10 Minuten gleich viele Ablesungen vor und nach der Zeit des Durchganges der Tagescurve durch den wahren Werth der Höhe anzustellen. (Man sehe deshalb die Steindrucktafeln II und III).

Ausserdem ist darauf zu achten, dass die horizontalen Entfernungen der Stationen keine zu grossen sind, jedenfalls nicht über 5 Meilen. Zeiten wechselnder Witterung, heftiger Bewegung der Atmosphäre und plötzlicher und starker Änderungen des Barometerstandes sind zu vermeiden.

Beachtet man diese Umstände, so muss man zu Resultaten kommen, die sich nicht weit von den wahren Werthen entfernen werden.

Die günstigsten Zeiten für die Beobachtungen in den verschiedenen Monaten sind noch einmal in folgender Tabelle zusammengestellt:

1. December ist ganz zu vermeiden.
2. Januar: nur Mittag 1^h.
3. Februar: 4^h Nachmittag und 10^h früh.
4. März: 6^h Nachmittag und 8^h früh.
5. April: 7^h Nachmittag und $7\frac{1}{2}^h$ früh.
6. Mai: 7^h Nachmittag und 7^h früh.
7. Juni: $9\frac{1}{2}^h$ Nachmittag und $6\frac{1}{2}^h$ früh.
8. Juli: $9\frac{1}{2}^h$ Nachmittag und $6\frac{1}{2}^h$ früh.
9. August: $7\frac{1}{2}^h$ Nachmittag und 7^h früh.
10. September: 6^h Nachmittag und 8^h früh.
11. Oktober: $3\frac{1}{2}^h$ Nachmittag und 10^h früh.
12. November: $2\frac{1}{2}^h$ Nachmittag und $10\frac{1}{2}^h$ früh.

Dabei ist jedoch noch zu beachten, dass alle diese Zahlen aus Monatsmitteln gerechnet sind, und somit für die Mitte des Monates, also ungefähr für den 15. gelten.

Die mit gehöriger Vorsicht bestimmten Thermometer- und Barometerstände werden alsdann zur Berechnung der Höhen benutzt.

Für einen blossen Überschlag genügt für Höhen unter 1000 Meter die Annäherungsformel von Babinet:

$$\overset{\text{met}}{h} = 16000 \cdot \frac{b' - b''}{b' + b''} \cdot \left\{1 + 2 \cdot \frac{(t' + t'')}{1000}\right\} \qquad 28)$$

Für genaue Rechnung bedient man sich der genauen Formel und diese lautet nach Seite 44:

$$\overset{\text{met}}{h} = 18400.2 \cdot \left(1.00157 + 0.003675 \frac{t' + t''}{2}\right) \cdot \left(1 + 0.378 \frac{\frac{\sigma'}{b'} + \frac{\sigma''}{b''}}{2}\right) \cdot$$

$$(1 + 0.002623 \cos 2\varphi) \cdot \left(1 + \frac{2.z + h}{6378150}\right) \cdot \log \frac{b'}{b''} \qquad 19)$$

Hierin bedeutet t' und t'' die Lufttemperatur, b' und b'' den Barometerstand, σ' und σ'' den Dampfdruck an der unteren und oberen Station, ψ das arithmetische Mittel der geographischen Breiten beider, und z die Höhe der unteren Station über dem Meere.

Statt aber nach dieser Formel selbst zu rechnen, benutzt man Tabellen und zwar in nachstehender Weise.

Wenn obige Formel logarithmirt wird, so geht sie in die Folgende über.

$$\left.\begin{aligned}
\log h = \log \left\{18400.2 \left(1.00157 + 0.003675 \frac{t' + t''}{2}\right)\right\} & \ldots . A \\
+ \log \{\log b' - \log b''\} & \ldots \ldots . B \\
+ \log \left\{1 + \frac{0.378}{2} \cdot \left(\frac{\sigma'}{b'} + \frac{\sigma''}{b''}\right)\right\} & \ldots \ldots . C \\
+ \log \{1 + 0.002623 \cdot \cos 2.\psi\} & \ldots \ldots . D \\
+ \log \left\{1 + \frac{2.z + h}{6378150}\right\} & \ldots \ldots . E
\end{aligned}\right\} \qquad 20)$$

Es ist also:

$$\log h = A + B + C + D + E \qquad 21)$$

Die Grössen A, C, D, E, sind in Tafeln gebracht worden, und zwar findet sich A in Tabelle I mit dem Argumente $t' + t''$, D in Tabelle II mit dem Argument $\chi = 45^0 - \psi$ und E mit den Argumenten $\log h$ und z in Tabelle III.

Zur Bestimmung von C dienen die 3 Tabellen IV 1, 2, 3. Der Gebrauch derselben ist leicht ersichtlich. Ist am trocknen

Thermometer des Phychrometers die Ablesung T und am feuchten Thermometer die Ablesung T' gemacht worden, so dient zur Bestimmung des Druckes des in der Luft enthaltenen Wasserdampfes folgende Formel:

$$\sigma = e_1 - 0.0008 \,.\, (T - T') \,.\, b \qquad 22)$$

in welcher e_1 die zu T' gehörige Maximalspannung bedeutet, und b den stattfindenden Druck.

Wenn das Wasser aber am feuchten Thermometer gefroren ist, muss zur Berechnung des Dunstdruckes die folgende Formel benutzt werden:

$$\sigma_1 = e_1 - 0.000691 \,.\, (T - T') \,.\, b \qquad 23)$$

Statt aber nach diesen Formeln zu rechnen, bedient man sich der Tafeln.

Man sucht zunächst aus IV 1 die zu T' gehörige Dampfspannung e_1 und zieht hiervon eine Grösse e_2 ab, die aus Tabelle IV 2 erhalten wird, wenn man mit dem Barometerstand b in die horizontalen und mit der Temperaturdifferenz $T - T'$ in die vertikalen Columnen eingeht. Ist das Wasser am feuchten Thermometer gefroren, so bedient man sich der Grössen, welche aus dem zweiten Theile der Tabelle IV 2 entnommen werden.

Man findet auf diese Weise für jede Station eine Dampfspannung σ;

$$\sigma = e_1 - e_2$$

man geht nun mit derselben ein in Tabelle IV 3, benutzt als gleichzeitiges Argument b und erhält die Grössen $\log\left(1 + 0.378\,\frac{\sigma'}{b'}\right)$ und $\log\left(1 + 0.378\,\frac{\sigma''}{b''}\right)$.

Das arithmetische Mittel führt man ein für das Glied C.

Statt dieses Verfahrens kann aber auch der Werth von C durch nur einmaliges Eingehen in die Tafel IV 3 aus σ', σ'', b' und b'' erhalten werden, wenn man $\frac{\sigma' + \sigma''}{2}$ als das eine, $\frac{b' + b''}{2}$ als das andere Argument wählt.

Den Gang der Rechnung zeigen folgende Beispiele.

Das Monatsmittel des September aus den sechsjährigen Beobachtungen giebt folgende Zahlen:

	Temperatur.	Barometer.	Dunstdruck.
Genf:	$+14.62 \equiv t'$	$728.35 \equiv b'$	$9.66 \equiv \sigma'$
Bernhard:	$+3.82 \equiv t''$	$568.065 \equiv b''$	$4.71 \equiv \sigma''$

Ausserdem ist die Breite für Genf: $46^0\ 12'$ ψ'
für Bernhard: $45^0\ 52'$ ψ''
arithmetisches Mittel $46^0\ 2' \equiv \psi$

Die Seehöhe von Genf $407^{met} \equiv z$.

Zunächst ist: $\log\ 728.35 \equiv 2.862340$
$\log 568.065 \equiv 2.754398$
$\log \equiv 0.107942$

$\log\ (\log b' - \log b'') \equiv B \equiv 0.03319 - 1$

Zu $t' + t'' = 18.44$ findet sich aus Tab. I $A \equiv 4.27998$

Für $\sigma' = 9.66$ u. $b' = 730$ findet man: 0.00218
„ $\sigma'' = 4.71$ u. $b'' = 570$ „ „ 0.00139
Das arithmetische Mittel ist: 179 $C \equiv 0.00179$
Zu $\varphi = 46^0$ giebt Tab. II $D \equiv -0.00004$
Logarithmus d. genäherten Höhe $\equiv 3.31492$
Zu $\log h = 3.3$ u. $z = 408$ aus Tab. III $E \equiv 0.00019$
$\log h \equiv 3.31511$
$h \equiv 2065.9^{met}$ *)

Für ein anderes Beispiel wähle ich eine meiner mit Albrecht angestellten Beobachtungen am Valtenberg in Sachsen und zwar: August $31, 6^h$

	Thermometer trocknes	Thermometer feuchtes	Barometer '''	Barometer mm
Valtenberg:	19.3	14.1	316.32 =	713.65
Neukirch:	19.7	15.9	326.82 =	737.25

Breite $= 51^0\ 4'$

Seehöhe der unteren Station $= 200^{met}$

Es gehört zu 14.1 $e' = 11.98$ mm (nach Tabelle IV 1)

*) Die in den Tabellen I bis VI enthaltenen Höhenrechnungen sind mit den Bauernfeind'schen Tafeln ausgeführt worden, daraus erklären sich die kleinen Abweichungen von den nach der neuen Formel erhaltenen Resultaten.

Zu 19.3—14.1 = 5.2 (= $T - T'$) u. 714 e_2 = 2.96 mm (nach Tabelle IV 2)

$\sigma_2 = e_1 - e_2 = 9.02$

Zu 9.02 u. 713^{mm}, 0.00210 (nach Tabelle IV 3)

In gleicher Weise zu 14.9 (nach T. IV 1) $e_1 = 12.61$

19.7 — 14.9 = 4.8 u. 740^{mm} (nach T. IV 2) $e_2 = 2.84$

$\sigma_2 = e_1 - e_2 = 9.77$

Zu σ_2 = 9.77 u. 740^{mm} (nach T. IV 3) 0.00216

u. das arithmetische Mittel = 0.00213 . C = 0.00213

In $t' + t''$ = 39.0 gehört nach Tabelle I . . A = 4.29556

log 326.82 = 2.514309

log 316.32 = 2.500127

log 0.014182 . . . . . B = 0.15174—2

Zu ψ = 51° 4′ nach Tabelle II . . . . D = 0.00024

Logarithmus der angenäherten Höhe 2.44919

Zu log h = 2.45 und z = 100 nach Tabelle III . E = 2

2.44921

Hinzuzufügender Logarithmus zur Umrechnung der Meter in Pariser Fuss = 0.48827

2.93748

h = 866,9 Par. Fuss

Wie schon aus diesen Beispielen ersehen werden kann, ist es am Besten die Logarithmen der Barometerstände mit 6 Decimalen anzugeben und alle übrigen Rechnungen auf 5 Decimalen auszuführen.

Will man die Anwendung von Logarithmen bei Berechnung der Höhen vermeiden, so kann man sich der hypsometrischen Tafeln VI bis XI bedienen.

Dieselben sind auf folgende Weise erhalten worden.

Zunächst wird die Formel für barometrische Höhenmessungen (Cap. III, Formel 47, pag. 44):

$$\overset{met}{h} = 18400.2 \left(1.00157 + 0.00367 \frac{t' + t''}{2}\right) \left(1 + \frac{0.378}{2} \left\{\frac{\sigma'}{b'} + \frac{\sigma''}{b''}\right\}\right) \times$$

$$\times (1 + 0.002623 \cos 2\psi) \left(1 + \frac{2z + h}{6378150}\right) \log \frac{b'}{b''}$$

in die Form gebracht:

met

$$h = 18429.1\ (1 + 0.00183\ \{t' + t''\}) \left(1 + 0.189 \left\{\frac{\sigma'}{b'} + \frac{\sigma''}{b''}\right\}\right) \times$$
$$\times\ (1 + 0.002623 \cos 2\ \psi) \left(1 + \frac{2\ z + h}{6378150}\right) \log \frac{b'}{b''}$$

Setzt man nun:

$$18429.1 \log \frac{760}{b''} = A_{b''}$$

und

$$18429.1 \log \frac{760}{b'} = A_{b'}$$

so ist:

$$A_{b''} - A_{b'} = 18429.1 \log \frac{b'}{b''}$$

Diese Grössen A_b sind in Tafel VI enthalten.

Der so erhaltene Werth ist ein genäherter Werth der Höhe.

$$h_1 = A_{b''} - A_{b'}$$

Zu diesem Werthe fügt man nun hinzu die Grösse:

$$h_1 \times 0.00183\ (t' + t'') = c_1$$

so ist:

$$h_2 = h_1 + c_1$$

ein etwas genauerer Näherungswerth der Höhe.

Die Grössen des Correctionsfactors mit welchem h_1 zu multipliciren ist, um c_1 zu finden, sind in Tabelle VII zusammengestellt.

Je nachdem $t' + t'' \gtrless 0$ ist, hat man dem Correctionsfactor einen positiven oder negativen Werth zu geben.

Um den so erhaltenen, genäherten Werth der Höhe wegen des Feuchtigkeitsgehaltes der Luft zu corrigen, bildet man zunächst die Werthe $0.189 \frac{\sigma'}{b''}$ und $0.189 \frac{\sigma''}{b''}$. Dieselben werden der Tabelle IX entnommen. Mit ihrer Summe wird alsdann die Grösse h_2 multiplicirt, und es ergiebt sich eine neue Verbesserung:

$$c_2 = h_2 \left\{0.189 \frac{\sigma'}{b''} + 0.189 \frac{\sigma''}{b''}\right\}$$

diese zu h_2 hinzu addirt, giebt eine weitere Annäherung:

$$h_3 = h_2 + c_2$$

Diese Höhe h_3 ist noch zu verbessern mit einem Gliede wegen der Veränderlichkeit der Schwere nach der geographischen Breite, das ist um eine Grösse c_3

$$c_3 = h_3 \times 0.002623 \cos 2\,\psi$$

Der Werth des mit h_3 zu multiplicirenden Factors ist nach Vorzeichen und Grösse der Tafel X zu entnehmen.

Es wird nun

$$h_3 + c_3 = h_4$$

gesetzt.

Um den wahren Werth h der Höhe zu erhalten, hat man noch eine vierte Correction c_4 hinzuzufügen, welche unmittelbar aus Tafel XI gefunden wird.

Alsdann ist:

$$h = h_4 + c_4$$

Die Rechnung geht fast ebenso rasch vor sich, als bei Anwendung von Logarithmen und es hat diese Methode den Vorzug, das man den Betrag jeder der Correctionen unmittelbar übersehen kann.

Zumal auf Reisen, auf denen man nicht gern Logarithmentafeln mit sich herum trägt, ist daher dieser Weg vorzuziehen. Die Genauigkeit des Endresultates ist ein wenig geringer als bei Rechnung mit den Tafeln I bis V; da der Tafel VI nur eine geringe Ausdehnung gegeben worden ist und durch die Interpolation kleine Fehler entstehen.

Ein Beipiel wird den Gang der Rechnung noch vollends verständlich machen. Gegeben sei:

für Genf: $t' = \overset{\circ C.}{14.62}$ $b' = \overset{mm}{728.35}$ $\sigma' = \overset{mm}{9.66}$ $z = 407^{met}$

für St. Bernhard: $t'' = 3.82$ $b'' = 568.065$ $\sigma'' = 4.71$ $\psi = 46^0$

Zu: 570^{mm} findet man in Tafel VI: $\overset{met}{2302.6}$.

Die Differenzen für 1^{mm} beträgt für 565^{mm} nach der Tafel: $\overset{met}{14.0}$ und für 575 aber: $\overset{met}{13.8}$, folglich benutzt man für 568^{mm} das Mittel: 13.9.

Nun ist: $1.935 \times 13.9 = 27.0$

mithin: . . . . $A_{b''} = \overset{met}{2329.6}$

Entsprechend ergiebt sich zu 730mm aus der hypsometrischen Tafel VI: 322.4 und als Differenz pro 1mm dies Mal 11.05 (für 730mm). Es ist daher:

$$11.05 \times 1.65 = 18.2$$

demnach: . . . . $A_{b'} = 340.6$ met

$h_1 = A_{b''} - A_{b'} = 1989.0$

Ferner ist $t' + t'' = +18.44$. Hiervon ergiebt Tafel VII den Correctionsfactor: 0.0334, demnach ist:

$c_1 = h_1 \times 0.0339$ . . $c_1 = 67.3$

und $h_1 + c_1 = h_2$ . . . . $h_2 = 2056.3$

Um den Correctionsfactor wegen der Luftfeuchtigkeit zu erhalten, entnimmt man aus Tafel IX

für $\sigma' = 9.7$ und $b' = 730$: 0.0024

und für $\sigma'' = 4.7$ und $b'' = 670$: 0.0015

0.0039

Es wird nun gebildet $c_2 = h_2 \times 0.0039$. $c_2 = 7.8$

und $h_3 = h_2 + c_2$ . . . $h_2 = 2064.1$

Für die mittlere geographische Breite = 46° findet man: $x = -1$ folglich den Factor selbst = 0.0001, mithin: $c_3 = -0.2$

und somit $h_3 + c_3 = h_4$ . . . $h_4 = 2063.9$

Die Correction c_4 ergiebt sich aus Tafel XI für $h = 2000$ und $z = 400$ zu: . . . . $c_4 = 0.9$

demnach ist nun endlich: $h = h_4 + c_4$ . . . $h = 2064.8$ met

Ferner sei gegeben für:

Neukirch: $b' = 739.96$ mm; $T' = 13.1$ °C.; $t' = 10.02$ °C.; $\sigma' = 7.06$ mm
$z = 200$met

Valtenberg: $b'' = 715.03$; $T'' = 11.4$; $t'' = 8.84$; $\sigma'' = 5.41$
$\psi = 51^0$

Zu b'' findet man: . . . . $A_{b''} = 488.9$

Zu b' in gleicher Weise: . . . . $A_{b'} = 213.0$

$h'_1 = 275.0$

Es waren aber hier die Barometerstände nicht auf 0° reducirt, sondern der untere bezieht sich auf eine Temperatur von 13.1 °C., der obere auf 11.4 °C.

Deshalb ist h'_1 noch zu verbessern. Die Correction findet sich aus Tafel VIII und da $T' - T'' = 1.7$ so ist der hinzuzufügende Werth: $= 2.2$ met demnach: . . . . . $h_1 = 278.1$ met

Für $t' + t'' = + 18.86$ giebt Tafel VII einen Correctionsfactor $= 0.0345$, alsdann ist: $278.1 \times 0.0345 = c_1$ $\quad c_1 = 9.6$

$h_1 + c_1 = h_2$ . . $\quad h_2 = 287.7$

Für $\sigma' = 7.06$ und $b' = 740$ erhält man aus Tafel IX: 0.0017

Für $\sigma'' = 5.41$ und $b'' = 715$ erhält man aus Tafel IX: 0.0014

Der Correctionsfactor für die Luftfeuchtigkeit beträgt: 0.0031

$c_2 = 287.7 \times 0.0031$ . . . $\quad c_2 = 0.9$

Also: $h_3 = h_2 + c_2$ . . . . $\quad h_3 = 288.6$

Für $\psi = 51^0$ ist $x = -6$ und der Correctionsfactor: -0.0005, demnach $c_3 = -288.6 \times 0.0005$ . . $\quad c_3 = -0.1$

$h_4 = h_3 + c_3$ . . . . $\quad h_4 = 288.5$

Die Correction wegen der Verminderung der Schwere in verticaler Richtung ist kleiner als 0.1 met, wird demnach vernachlässigt, und man erhält: $h = 288.5$ met.

Hypsometrische Tafeln mit Anwendung von Logarithmen.

Tafel I

enthält: $\log 18000.2 \left(1.00157 + 0.00367 \frac{t' + t''}{2}\right)$

Argument: $(t + t' \equiv 2\tau)$

		Diff.			Diff.			Diff.
−25	4.24508	83	3	4.26788	80	31	4.28956	76
−24	4.24591	82	4	4.26868	79	32	4.29032	75
−23	4.24674	84	5	4.26947	78	33	4.29107	75
−22	4.24758	83	6	4.27025	79	34	4.29182	75
−21	4.24841	83	7	4.27104	79	35	4.29257	75
−20	4.24924	82	8	4.27183	79	36	4.29332	75
−19	4.25006	83	9	4.27262	78	37	4.29407	75
−18	4.25089	83	10	4.27340	78	38	4.29482	74
−17	4.25172	82	11	4.27418	79	39	4.29556	75
−16	4.25254	82	12	4.27497	79	40	4.29631	74
−15	4.25336	82	13	4.27576	78	41	4.29705	74
−14	4.25418	82	14	4.27657	77	42	4.29779	74
−13	4.25500	81	15	4.27731	78	43	4.29853	74
−12	4.25581	82	16	4.27809	77	44	4.29927	74
−11	4.25663	81	17	4.27886	77	45	4.30001	74
−10	4.25744	81	18	4.27964	77	46	4.30075	73
− 9	4.25825	81	19	4.28041	77	47	4.30148	73
− 8	4.25906	81	20	4.28118	77	48	4.30221	74
− 7	4.25987	81	21	4.28195	76	49	4.30295	73
− 6	4.26068	81	22	4.28271	77	50	4.30368	73
− 5	4.26149	80	23	4.28348	77	51	4.30441	73
− 4	4.26229	80	24	4.28425	76	52	4.30514	73
− 3	4.26309	81	25	4.28501	76	53	4.30587	72
− 2	4.26390	80	26	4.28577	76	54	4.30659	73
− 1	4.26470	80	27	4.28653	76	55	4.30732	72
0	4.26550	79	28	4.28729	77	56	4.30804	73
1	4.26629	80	29	4.28805	76	57	4.30877	72
2	4.26709	79	30	4.28881	75	58	4.30949	72
3	4.26788		31	4.28956		59	4.31021	72
						60	4.31093	

Tafel II.

Argument: $x = 45^{0} - \varphi$.

Enthält:

$\log(1 + 0.00262 \cos 2\psi)$.

Je nachdem $x \gtrless 0$, hat man das Zeichen $\pm$ anzuwenden.

x		x	
0	0.000 0	23	0.000 82
1	4	24	85
2	8	25	87
3	12	26	90
4	16	27	92
5	20	28	95
6	24	29	97
7	28	30	0.000 99
8	31	31	101
9	35	32	103
10	0.000 39	33	104
11	43	34	106
12	46	35	107
13	50	36	109
14	54	37	110
15	57	38	111
16	60	39	112
17	64	40	0.00 112
18	67	41	113
19	70	42	114
20	0.000 73	43	114
21	76	44	114
22	79	45	114

Tafel III

enthält: $\log\left(1 + \frac{2z + h}{6378150}\right)$.

Argumente: $\log h$ und z.

$\log h$	z														
	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1500	2000	3000	4000
1.0	0.000 0	1	2	4	5	7	8	9	11	12	13	20	27	41	54
2.0	1	2	3	5	6	8	9	10	12	13	14	21	28	42	55
2.1	1	2	3	5	6	8	9	10	12	13	14	21	28	42	55
2.2	1	2	3	5	6	8	9	10	12	13	14	21	28	42	55
2.3	1	2	3	5	6	8	9	10	12	13	14	21	28	42	55
2.4	2	3	4	6	7	9	10	11	13	14	15	22	29	43	56
2.5	2	3	4	6	7	9	10	11	13	14	15	22	29	43	56
2.6	3	4	5	7	8	10	11	12	14	15	16	23	30	44	57
2.7	3	4	5	7	8	10	11	12	14	15	16	23	30	44	57
2.8	4	5	6	8	9	11	12	13	15	16	17	24	31	45	58
2.9	5	6	7	9	10	12	13	14	16	17	18	25	32	46	59
3.0	7	8	9	11	12	14	15	16	18	19	20	27	34	48	61
3.1	9	10	11	13	14	16	17	18	20	21	22	29	36	50	63
3.2	11	12	13	15	16	18	19	20	22	23	24	31	38	52	65
3.3	14	15	16	18	19	21	22	23	25	26	27	34	41	55	68
3.4	17	18	19	21	22	24	25	26	28	29	30	37	44	58	71
3.5	22	23	24	26	27	29	30	31	33	34	35	42	49	63	76
3.6	27	28	29	31	32	34	35	36	38	39	40	47	54	68	81
3.7	34	35	36	38	39	41	42	43	45	46	47	54	61	75	88
3.8	43	44	45	47	48	50	51	52	54	55	56	63	70	84	97

Tafel IV 1.

Spannkräfte des Wasserdampfes nach Magnus und Regnault in mm.

Temperatur.	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8
−14.0	1.51	1.49	1.47	1.44	1.42
−13.0	1.64	1.62	1.59	1.57	1.54
−12.0	1.78	1.75	1.73	1.70	1.67
−11.0	1.93	1.90	1.87	1.84	1.81
−10.0	2.09	2.06	2.03	2.00	1.97
− 9.0	2.27	2.24	2.20	2.16	2.13
− 8.0	2.46	2.42	2.38	2.35	2.31
− 7.0	2.67	2.63	2.58	2.54	2.50
− 6.0	2.89	2.84	2.80	2.75	2.71
− 5.0	3.12	3.08	3.03	2.98	2.93
− 4.0	3.37	3.32	3.27	3.22	3.17
− 3.0	3.64	3.59	3.53	3.48	3.43
− 2.0	3.93	3.87	3.81	3.75	3.70
− 1.0	4.24	4.17	4.11	4.05	3.99
0.0	4.56 4.56	4.50 4.63	4.43 4.70	4.36 4.76	4.30 4.83
1.0	4.90	4.97	5.05	5.12	5.19
2.0	5.27	5.34	5.42	5.50	5.57
3.0	5.65	5.73	5.81	5.90	5.98
4.0	6.06	6.15	6.24	6.32	6.41
5.0	6.50	6.59	6.68	6.78	6.87
6.0	6.97	7.07	7.16	7.26	7.36
7.0	7.46	7.57	7.67	7.77	7.88
8.0	7.99	8.10	8.21	8.32	8.43
9.0	8.55	8.67	8.78	8.90	9.02
10.0	9.15	9.27	9.39	9.52	9.64
11.0	9.77	9.90	10.03	10.17	10.30
12.0	10.44	10.58	10.72	10.86	11.00
13.0	11.15	11.29	11.44	11.59	11.74
14.0	11.90	12.05	12.21	12.37	12.53
15.0	12.69	12.85	13.02	13.19	13.76
16.0	13.53	13.70	13.88	14.05	14.23
17.0	14.42	14.60	14.78	14.97	15.16
18.0	15.35	15.55	15.74	15.94	16.14
19.0	16.35	16.55	16.76	16.97	17.18
20.0	17.39	17.61	17.83	18.05	18.27
21.0	18.50	18.73	18.96	19.19	19.43
22.0	19.66	19.91	20.15	20.70	20.65
23.0	20.90	21.15	21.41	21.67	21.93
24.0	22.20	22.46	22.74	23.01	23.29
25.0	23.57	23.85	24.13	24.42	24.71
26.0	25.01	25.30	25.60	25.91	26.22
27.0	26.53	26.84	27.15	21.47	21.80
28.0	28.12	28.46	28.78	29.13	29.47
29.0	29.81	30.15	30.50	30.86	31.21
30.0	31.58	31.94	32.31	32.68	33.05

Tafel IV 2

enthält: $e_2 = B\,(t - t_,)\,.0{,}0008$ und $e_2 = B\,(t - t_,)\,0.000691.$

Argumente: $t - t_,$ *und* B.

B	$t - t_,$ 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Wenn das feuchte Thermometer mit Eis bedeckt ist. $t - t_,$ 1	2	3
460	0.32	0.64	0.96	1.28	1.60	1.92	2.24	2.56	2.88	3.20	0.28	0.55	0.83
420	0.34	0.69	1.02	1.34	1.68	2.02	2.35	2.69	3.02	3.36	0.29	0.58	0.87
440	0.35	0.70	1.06	1.41	1.76	2.11	2.46	2.82	3.17	3.52	0.30	0.60	0.91
460	0.37	0.74	1.10	1.47	1.84	2.21	2.57	2.94	3.31	3.68	0.32	0.63	0.95
480	0.38	0.77	1.15	1.53	1.92	2.30	2.69	3.07	3.46	3.84	0.33	0.66	0.99
500	0.40	0.80	1.20	1.60	2.00	2.40	2.80	3.20	3.60	4.00	0.35	0.69	1.04
520	0.42	0.84	1.28	1.66	2.08	2.50	2.93	3.33	3.74	4.16	0.36	0.72	1.08
540	0.43	0.87	1.31	1.73	2.16	2.59	3.05	3.46	3.89	4.32	0.37	0.75	1.12
560	0.45	0.90	1.34	1.79	2.23	2.69	3.14	3.58	4.03	4.48	0.39	0.77	1.16
580	0.46	0.93	1.39	1.86	2.32	2.78	3.25	3.71	4.18	4.64	0.40	0.80	1.20
600	0.48	0.96	1.44	1.92	2.40	2.88	3.36	3.84	4.32	4.80	0.41	0.83	1.24
620	0.50	0.99	1.49	1.98	2.48	2.98	3.47	3.97	4.46	4.96	0.43	0.86	1.28
640	0.51	1.02	1.54	2.05	2.56	3.07	3.58	4.10	4.61	5.12	0.44	0.88	1.33
660	0.53	1.06	1.58	2.11	2.64	3.17	3.70	4.22	4.75	5.28	0.46	0.91	1.37
680	0.54	1.09	1.63	2.18	2.72	3.26	3.81	4.35	4.90	5.44	0.47	0.94	1.41
700	0.56	1.12	1.68	2.24	2.80	3.36	3.92	4.48	5.04	5.60	0.48	0.97	1.45
720	0.58	1.15	1.73	2.30	2.88	3.46	4.03	4.61	5.18	5.76	0.50	1.00	1.49
740	0.59	1.18	1.78	2.37	2.96	3.55	4.14	4.74	5.83	5.92	0.51	1.02	1.53
760	0.61	1.21	1.83	2.44	3.04	3.65	4.26	4.87	5.48	6.08	0.53	1.05	1.57
780	0.63	1.24	1.89	2.51	3.12	3.75	4.37	5.00	5.63	6.24	0.54	1.08	1.62

Tafel IV 3

enthält: $\log\left(1 + 0.378\,\frac{\sigma}{B}\right)$ in Einheiten der 5ten Decimale.

Argumente: σ und B.

B^{mm}	σ^{mm} 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
400	41	82	128	164	206	247	289	330	371	411
420	39	78	117	156	196	235	275	314	353	391
440	37	75	112	150	187	225	262	299	337	374
460	36	72	107	143	179	215	251	286	322	358
480	34	69	103	137	172	206	240	274	309	343
500	33	66	99	132	165	198	230	263	296	329
520	32	63	95	127	158	190	221	253	284	316
540	30	61	91	122	152	183	213	244	274	305
560	29	59	88	118	147	177	206	235	265	294
580	28	58	86	114	143	171	200	228	257	284
600	28	55	83	110	139	166	194	221	248	274
620	27	53	81	107	134	160	187	214	240	267
640	26	52	78	104	130	156	181	207	233	258
660	25	50	76	101	125	151	176	200	225	250
680	24	49	77	98	122	147	171	194	218	242
700	24	47	72	95	119	142	165	189	212	235
720	23	46	69	92	115	138	160	183	206	228
740	22	45	67	89	111	134	155	178	200	222
760	22	44	66	87	108	149	151	173	195	216
780	21	42	63	84	105	126	147	169	190	211

Tafel V.

Von $\log \frac{b'}{b''}$ abzuziehende Grösse K wenn die Barometerstände nicht auf 0° reducirt sind.

$T' - T''$	K
1	0.00008
2	0.00016
3	0.00023
4	0.00031
5	0.00039
6	0.00047
7	0.00055
8	0.00062
9	0.00070
10	0.00078
11	0.00086
12	0.00094
13	0.00101
14	0.00109
15	0.00117
16	0.00125
17	0.00133
18	0.00141
19	0.00148
20	0.00156

Hypsometrische Tafeln ohne Anwendung von Logarithmen.

Tafel VI.

Enthält: $18429.1^{\text{met.}} \times \log \frac{760}{b}$

Dem Barometerstande entsprechende Seehöhe in Metern.

Argument: Barometerstand b^{mm}.

b^{mm}	Meter	Diff. für 1^{mm}	b^{mm}	Meter	Diff. für 1^{mm}
400	5137.2	− 19.5	600	1892.0	− 13.2
410	4939.6	− 19.1	610	1759.8	− 13.1
420	4746.7	− 18.6	620	1629.6	− 12.9
430	4558.3	− 18 2	630	1501.5	− 12.7
440	4374.4	− 17.8	640	1375.5	− 12.5
450	4294.5	− 17.4	650	1251.4	− 12.3
460	4018.6	− 17.0	660	1129.1	− 12.1
470	3846.4	− 16.7	670	1008.8	− 12.0
480	3677.9	− 16.3	680	890.2	− 11.8
490	3512.8	− 16.0	690	773.3	− 11.6
500	3351.2	− 15.7	700	658.2	− 11.4
510	3192.7	− 15.4	710	544.6	− 11.3
520	3037.3	− 15.1	720	432.7	− 11.1
530	2884.9	− 14.8	730	322.4	− 11.0
540	2735.2	− 14.5	740	213.4	− 10.8
550	2588.4	− 14.3	750	105.9	− 10.7
560	2444.2	− 14.0	760	0.0	− 10.7
570	2302.6	− 13.8	770	−104.8	− 10.6
580	2163.3	− 13.6	780	−207.9	− 10.5
590	2026.5	− 13.4			
600	1892.0				

Tafel VII.

Enthält: $0.183 \times (t' + t'')$.

Correctionsfactor wegen der Temperatur.

Argument: $t' + t''$.

$t+t'$	Corrfact.	$t+t'$	Corrfact.	$t+t'$	Corrfact.	$t+t'$	Corrfact.
°C		°C		°C		°C	
1	0.0018	15	0.0275	29	0.0531	43	0.0787
2	0.0037	16	0.0293	30	0.0549	44	0.0805
3	0.0055	17	0.0311	31	0.0567	45	0.0823
4	0.0573	18	0.0329	32	0.0586	46	0.0842
5	0.0091	19	0.0348	33	0.0604	47	0.0860
6	0.0060	20	0.0366	34	0.0622	48	0.0878
7	0.0128	21	0.0384	35	0.0640	49	0.0897
8	0.0146	22	3.0403	36	0.0659	50	0.0915
9	0.0164	23	3.0421	37	0.0677	51	0.0933
10	0.0183	24	3.0439	38	0.0696	52	0.0952
11	0.0201	25	0.0458	39	0.0714	53	0.0970
12	0.0220	26	0.0476	40	0.0732	54	0.0988
13	0.0238	27	0.0495	41	0.0750	55	0.1006
14	0.0257	28	0.0513	42	0.0769	56	0.1025

Tafel VIII.

met.
Enthält: $1.284 \times (T' - T'')$.

Correction wegen ungleicher Temperatur der Barometer.

Argument: $T' - T''$.

°C	met.	°C	met.
1	1.3	13	16.7
2	2.6	14	18.0
3	3.9	15	19.3
4	5.1	16	20.5
5	6.4	17	21.8
6	7.7	18	23.1
7	9.0	19	24.4
8	10.3	20	25.8
9	11.6	21	27.1
10	12.8	22	28.3
11	14.1	23	29.6
12	15.4	24	30.9
13	16.7	25	32.1

Tafel IX.

Enthält: $0.189 \times \frac{\sigma}{b}$.

Correctionsfactor wegen der Luftfeuchtigkeit

Argumente: b und σ.

b^{mm}	σ^{mm} 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
400	0.0005	0.0009	0.0014	0.0019	0.0028	0.0028	0.0032	0.0037	0.0042	0.0047
420	0.0004	0.0009	0.0014	0.0018	0.0022	0.0026	0.0031	0.0036	0.0041	0.0045
440	0.0004	0.0009	0.0013	0.0017	0.0021	0.0025	0.0030	0.0035	0.0039	0.0043
460	0.0004	0.0008	0.0012	0.0016	0.0020	0.0024	0.0029	0.0033	0.0037	0.0041
480	0.0004	0.0008	0.0012	0.0016	0.0020	0.0024	0.0028	0.0032	0.0036	0.0040
500	0.0004	0.0008	0.0011	0.0015	0.0019	0.0023	0.0027	0.0031	0.0034	0.0039
520	0.0004	0.0007	0.0011	0.0015	0.0018	0.0022	0.0026	0.0030	0.0033	0.0037
540	0.0003	0.0007	0.0010	0.0014	0.0018	0.0021	0.0025	0.0029	0.0032	0.0035
560	0.0003	0.0007	0.0010	0.0014	0.0017	0.0020	0.0024	0.0028	0.0031	0.0034
580	0.0003	0.0007	0.0010	0.0013	0.0016	0.0019	0.0023	0.0027	0.0030	0.0033
600	0.0003	0.0006	0.0009	0.0012	0.0015	0.0019	0.0022	0.0025	0.0028	0.0031
620	0.0003	0.0006	0.0009	0.0012	0.0015	0.0018	0.0021	0.0024	0.0027	0.0030
640	0.0003	0.0006	0.0009	0.0012	0.0015	0.0018	0.0021	0.0023	0.0026	0.0029
660	0.0003	0.0006	0.0009	0.0012	0.0014	0.0017	0.0020	0.0023	0.0026	0.0029
680	0.0003	0.0005	0.0008	0.0011	0.0014	0.0017	0.0019	0.0022	0.0025	0.0028
700	0.0003	0.0005	0.0008	0.0011	0.0013	0.0016	0.0019	0.0021	0.0024	0.0027
720	0.0003	0.0005	0.0008	0.0010	0.0013	0.0016	0.0018	0.0020	0.0023	0.0026
740	0.0003	0.0005	0.0007	0.0010	0.0013	0.0015	0.0017	0.0020	0.0023	0.0025
760	0.0002	0.0005	0.0007	0.0010	0.0012	0.0015	0.0017	0.0020	0.0022	0.0025
780	0.0002	0.0005	0.0007	0.0009	0.0012	0.0014	0.0016	0.0019	0.0022	0.0024

Tafel X.

Enthält: $0.0026 \times \cos 2\psi$.

Correctionsfactor wegen der geographischen Breite.

Argument: $x = 45^\circ - \psi^\circ$.

Je nachdem $x \gtrless 0$, hat man das Zeichen $\pm$ anzuwenden.

x	Corrfact.	x	Corrfact.	x	Corrfact.	x	Corrfact.
0	0.0000	12	0.0011	24	0.0019	35	0 0025
1	0.0001	13	0.0012	25	0.0020	36	0.0025
2	0.0002	14	0 0012	26	0.0020	37	0.0025
3	0.0003	15	0.0013	27	0.0021	38	0.0025
4	0.0004	16	0.0013	28	0.0021	39	0.0025
5	0.0005	17	0.0014	29	0.0022	40	0.0025
6	0.0005	18	0.0015	30	0.0022	41	0.0026
7	0.0006	19	0.0015	31	0.0023	42	0.0026
8	0.0007	20	0.0016	32	0.0023	43	0.0026
9	0.0008	21	0.0017	33	0.0024	44	0.0026
10	0.0009	22	0.0018	34	0.0024	45	0.0026
11	0.0010	23	0.0019				

Tafel XI.

Enthält: $h \times \left(1 + \frac{2z + h}{6378150}\right)$.

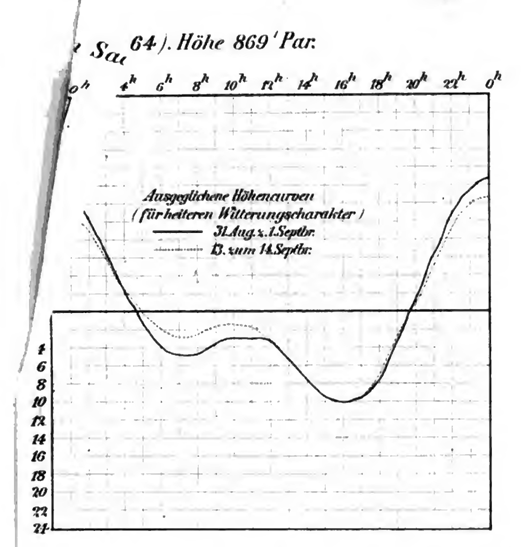
Correction wegen Verminderung der Schwere in verticaler Richtung.

Stets zur genäherten Höhe hinzu zu addiren.

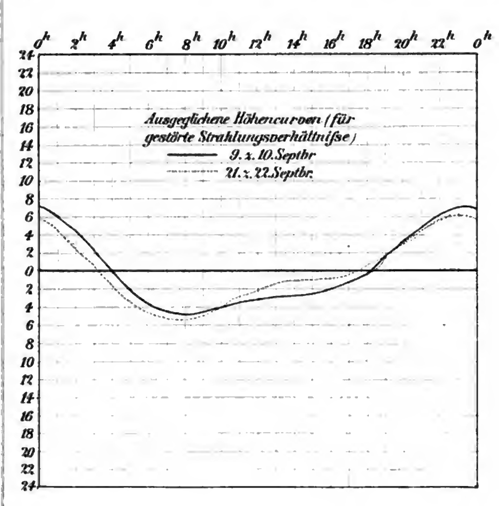
$h^{\text{met.}}$	$z^{\text{met.}}$					
	0	100	500	1000	1500	2000
100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
500	0.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4
1000	0.2	0.2	0.4	0.5	0.7	0.8
1500	0.3	0.4	0.6	0.8	1.0	1.3
2000	0.6	0.7	0.9	1.2	1.5	1.9
2500	1.0	1.1	1.4	1.8	2.2	2.6
3000	1.4	1.5	1.9	2.3	2.8	3.3
4000	2.5	2.6	3 1	3.7	4.4	5.0

Druck von Breitkopf & Härtel in Leipzig.

Taf. I.

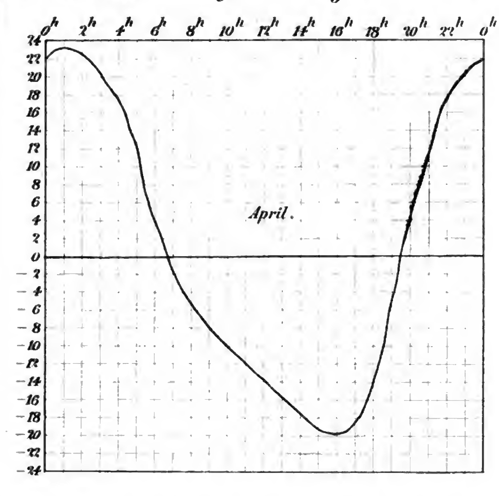


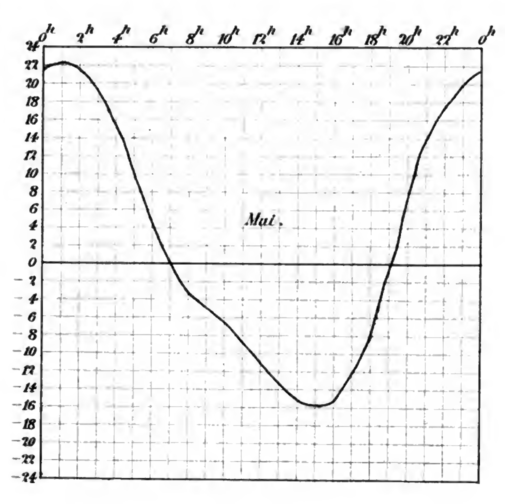
Sa 64). Höhe 869' Par.
0h
4h
6h
8h
10h
12h
14h
16h
18h
20h
22h
0h
Ausgeglichene Höhencurven
(für heiteren Witterungscharakter)
31. Aug. z. 1. Septbr.
13. zum 14. Septbr.
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24



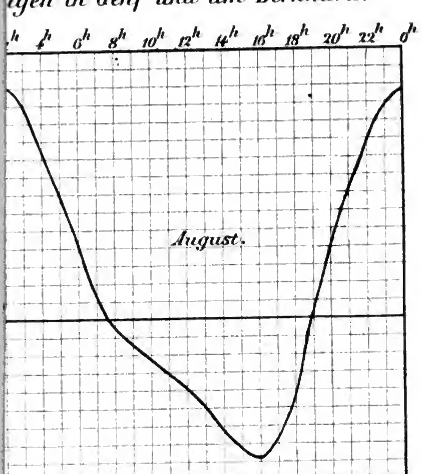
0h
2h
4h
6h
8h
10h
12h
14h
16h
18h
20h
22h
0h
Ausgeglichene Höhencurven (für
gestörte Strahlungsverhältnisse)
9. z. 10. Septbr
21. z. 22. Septbr.
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24

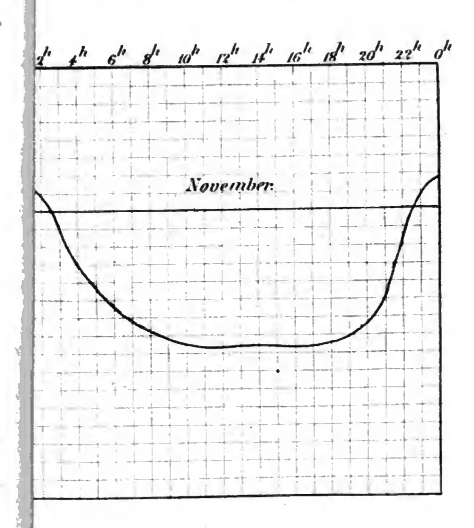
·nhard und in Genf. I. Halbjahr. Höhe 2070 met.





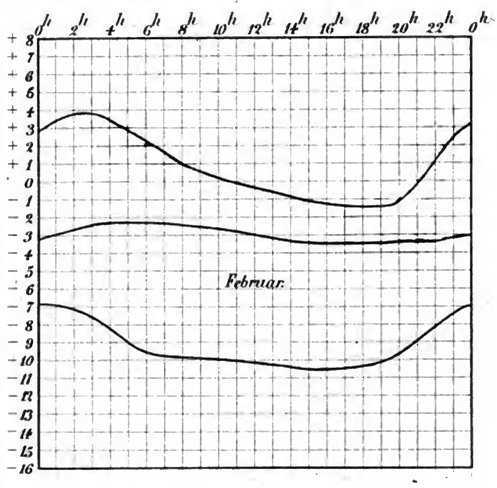
...gen in Genf und am Bernhard.

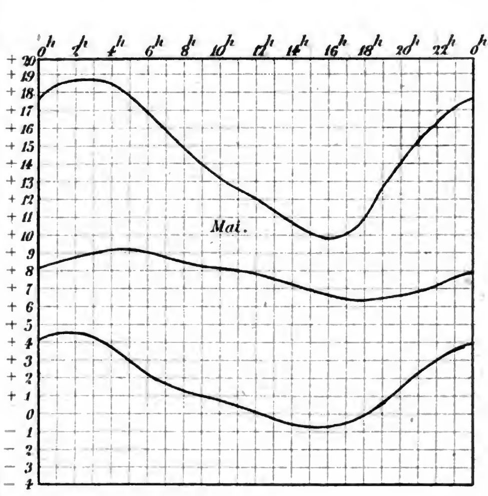




Taf. IV.

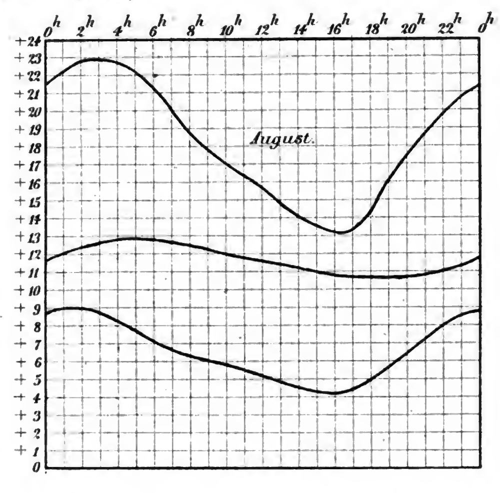

fttemperaturen.

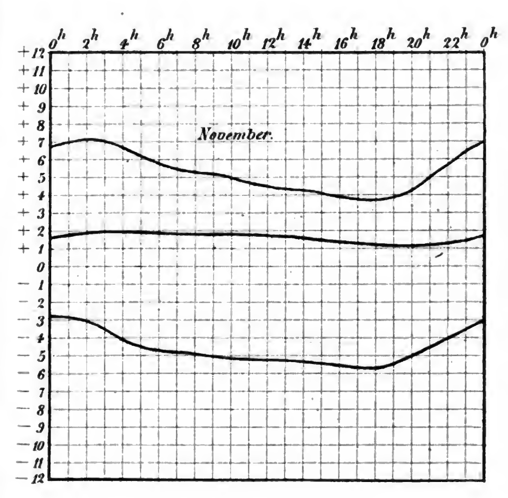

0h 2h 4h 6h 8h 10h 12h 14h 16h 18h 20h 22h 0h
+ 8
+ 7
+ 6
+ 5
+ 4
+ 3
+ 2
+ 1
0
− 1
− 2
− 3
− 4
− 5
− 6
− 7
− 8
− 9
− 10
− 11
− 12
− 13
− 14
− 15
− 16
Februar.

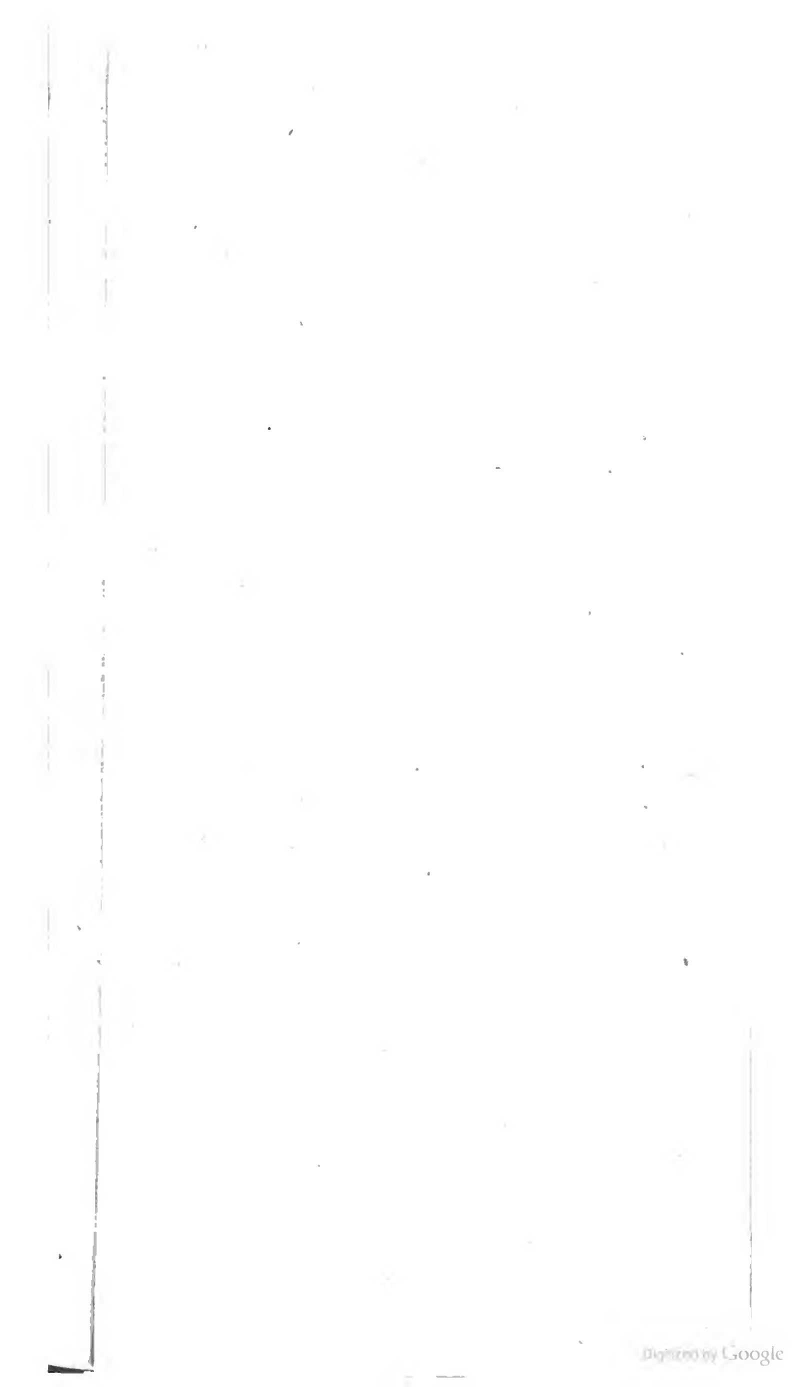

0h 2h 4h 6h 8h 10h 12h 14h 16h 18h 20h 22h 0h
+ 20
+ 19
+ 18
+ 17
+ 16
+ 15
+ 14
+ 13
+ 12
+ 11
+ 10
+ 9
+ 8
+ 7
+ 6
+ 5
+ 4
+ 3
+ 2
+ 1
0
− 1
− 2
− 3
− 4
Mai.

Taf. V.


ahre Lufttemperaturen.


0h 2h 4h 6h 8h 10h 12h 14h 16h 18h 20h 22h 0h
+24
+23
+22
+21
+20
+19
+18
+17
+16
+15
+14
+13
+12
+11
+10
+9
+8
+7
+6
+5
+4
+3
+2
+1
0
August.


0h 2h 4h 6h 8h 10h 12h 14h 16h 18h 20h 22h 0h
+12
+11
+10
+9
+8
+7
+6
+5
+4
+3
+2
+1
0
−1
−2
−3
−4
−5
−6
−7
−8
−9
−10
−11
−12
November.




Digitized by Google

Druck von Breitkopf und Härtel in Leipzig.

